



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORA: Malla Calderón, Karla Daniela

DIRECTOR: Guamán Jaramillo, Galo Alexander, MSc.

CODIRECTORA: Zúñiga Torres, Berenice Cecibel, MSc.

LOJA – ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc.

Galo Alexander Guamán Jaramillo

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

En el presente trabajo de titulación: ***“Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro”*** realizado por **Malla Calderón Karla Daniela**, ha sido orientado y revisado durante la ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, abril de 2017

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo **Mala Calderón Karla Daniela** declaro ser autor (a) del presente trabajo de titulación: **“Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón”**, de la Titulación de Geología y Minas, siendo el MSc. Galo Alexander Guamán Jaramillo director (a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad.

f.

Autor: Mala Calderón Karla Daniela

Cédula: 1900634377

DEDICATORIA

Con mucha estima dedico este logro a mis padres: María Elena Calderón y Daniel Malla Romero, que a través de su entusiasmo, superación y ejemplo me enseñaron que “en la vida no hay nada imposible, para quien sabe luchar”; a mi hermano Diego Rafael León, que con su ejemplo altruista ha sido el autor intelectual para que se lleve a cabo la culminación de este logro; a mi hermana Sara Elena Malla, que pese a su lejanía éste logro también es para ella.

A la memoria del Dr. Agustín Paladines, ya que con su sabiduría trató de que soñáramos mucho más allá del horizonte.

Y en especial dedico este logro para cada uno de esos estudiantes emigrantes con limitaciones económicas que les cuesta el doble subir cada escalón, “nada es imposible, para quien sabe luchar”.

El Autor

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a esa fuerza superior que ha estado en todo momento presente hasta en el detalle más insignificante, gracias Todopoderoso; al Dr. Galo Vivanco que de la forma más desinteresada fue una persona clave para que se lleve a cabo la realización de este sueño; a mi familia que siempre con su actitud y sabiduría fueron mi fuente de motivación y valentía para luchar; a mis ángeles Rebeca, Yessenia, Carlos, Richard, Daniel, Yordy, ángeles en los cuales la mano de Dios se atenuaba de forma especial para mantener el equilibrio y seguir; y a todos mis amigos y compañeros que conocí a lo largo de esta etapa.

Al MSc. Galo Alexander Guamán Jaramillo y MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres por impartir sus valiosos conocimientos, y ser fundamental en la etapa final de la realización de mi sueño; y a todos mis maestros que con mucha dedicación nos impartieron valiosos conocimientos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
RESUMEN EJECUTIVO	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	5
GENERALIDADES	5
1.1 Antecedentes	6
1.2 Justificación.....	7
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivos específicos.....	8
CAPÍTULO II.....	9
ASPECTOS FÍSICOS – GEOGRÁFICOS DE LA ZONA.....	9
2.1 Localización geográfica	10
2.2 Acceso	12
2.3 Hidrografía	12
2.4 Clima.....	13
2.5 Flora.....	15
2.6 Fauna.....	15
2.7 Actividad minera.....	16
2.7.1 Actividad minera: San Pablo de Tenta.....	16
2.7.2 Actividad minera: El Paraíso de Celén.....	16
2.7.3 Actividad minera: Urdaneta.....	17
CAPÍTULO III.....	18
GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	18
3.1 Geomorfología.....	19
3.2 Contexto Geológico	19
3.2.1 Geología Regional	19
3.2.2 Grupo Saraguro (Eoceno tardío-Mioceno temprano).....	20
3.2.2.1 Formación Las Trancas (O _{st}).....	22

3.2.2.2 Formación Jubones (M _{si}).....	23
3.2.2.3 Formación La Paz (M _{sp}).....	23
3.2.2.4 Formación La Fortuna (M _{sf}).....	23
3.2.2.5 Unidad Portovelo (?O _p).....	23
3.2.3 Formación Loma Blanca (O _{LB}).....	25
3.2.3.1 Formación Saraguro (O _s).....	26
3.2.3.2 Formación Tarqui (Mioceno Tardío).....	26
CAPÍTULO IV	27
MARCO TEÓRICO	27
4.1 Puzolanas: Generalidades.....	28
4.1.1 Definición.....	28
4.1.2 Reseña histórica.....	28
4.1.3 Clasificación de las puzolanas.....	29
4.1.3.1 Puzolanas naturales.....	29
4.1.3.2 Puzolanas artificiales.....	30
4.1.4 Propiedades de las puzolanas.....	31
4.1.5 Actividad puzolánica.....	32
4.1.6 Aplicaciones y ventajas.....	33
4.1.7 Puzolanas en el Ecuador	33
4.2 Hormigón de cemento portland con adiciones (puzolana): Generalidades.....	35
4.2.1 Adiciones minerales.....	35
4.2.2 Ventajas del uso de adiciones minerales en el hormigón.....	37
4.2.3 El Aglomerante Cal-Puzolana como adición activa en el hormigón.....	38
4.2.4 Definición de morteros.....	38
CAPITULO V	39
METODOLOGÍA.....	39
5.1 Recopilación de información.....	40
5.2 Trabajo de campo. Caracterización geológica.....	41
5.3 Trabajo de laboratorio.....	42
5.3.1 Caracterización del material. Ensayos químicos.....	43
5.3.1.1 Fluorescencia de rayos X (FRX).....	43
5.3.1.3 Láminas delgadas.....	43
5.3.2 Caracterización del material. Ensayos físicos.....	43
5.3.2.1 Método del picnómetro.....	44
5.3.2.2 Granulometría por hidrómetro.....	45
5.3.2.3 Granulometría por tamizado y Módulo de finura.....	45

5.3.2.4	Material más fino que pasa el tamiz #200 por lavado.....	45
5.3.3	Caracterización del material. Ensayos mecánicos.	46
5.3.3.1	Resistencia a la compresión. Índice de actividad puzolánica.	46
5.3.3.2	Resistencia a la compresión. Adición puzolánica.	46
5.3.4	Caracterización del cemento Guapan.	50
5.3.5	Caracterización de la Cal.	51
5.4	Trabajo de Gabinete. Evaluación del recurso puzolánico inferido.	52
CAPITLO VI.....		53
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		53
6.1	Caracterización geológica del material.	54
6.2	Caracterización del material. Ensayos químicos.....	58
6.2.1	Fluorescencia de rayos X.....	58
6.2.2	Difracción de rayos X.....	59
6.2.3	Mineralogía de lámina delgada.	63
6.3	Caracterización del material. Ensayos físicos.....	65
6.3.1	Peso específico.	65
6.3.2	Granulometría por método del hidrómetro.	65
6.3.3	Granulometría por tamizado y módulo de finura.	66
6.3.4	Material pasante el tamiz #200 por lavado.....	67
6.4	Caracterización del material. Ensayos mecánicos.....	67
6.4.1	Índice de puzolanidad.	68
6.4.2	Efecto puzolánico en la resistencia a la compresión de morteros mediante diferentes sustituciones.....	69
6.4.2.1	Morteros de sustitución (puzolana-cemento).....	69
6.4.2.2	Morteros de sustitución (puzolana por arena).....	72
6.5	Cálculo del recurso puzolánico inferido.	75
CONCLUSIONES.....		76
RECOMENDACIONES.....		80
BIBLIOGRAFÍA.....		82
ANEXOS.....		86
ANEXO I.	Procedimiento de ensayos de laboratorio.	86
ANEXO II.	Cálculo de ensayos de laboratorio.	86
ANEXO III.	Resultados de ensayos de laboratorio.	86
ANEXO IV.	Modelamiento 3D de los recursos puzolánicas inferidos.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.	10
Figura 2: Mapa de acceso a los diferentes lugares muestreados en el cantón Saraguro.	12
Figura 3: Subcuencas Hidrográficas del Cantón Saraguro.....	13
Figura 4: Tipos de climas del cantón Saraguro	14
Figura 5: Concesión minera artesanal “Chacaputo”, barrio Zunín-Pacay.	16
Figura 6: Mapa de concesiones mineras Urdaneta	17
Figura 7: Mapa Geológico De La Cordillera Occidental Del Ecuador Entre 3° - 4° S Escala 1:200.000.....	21
Figura 8: Geological map of southern Ecuador between 2.54° S to 4.25°S.....	24
Figura 9: Cantera “Cañicapa” etapa II.....	35
Figura 10: Clasificación de las adiciones minerales	36
Figura 11: Influencia de las adiciones sobre el desarrollo de resistencia del hormigón.	37
Figura 12: Ensayos físicos según el tipo de sustitución.	44
Figura 13: Cantera de extracción de material de la concesión “Cañicapa”.....	55
Figura 14: Concesión “CHACAPUTO” (M7)	55
Figura 15: Cantera abandonada, sector Zunín (M8)	56
Figura 16: Afloramiento en el sector Yucucapa (M9).....	56
Figura 17: Afloramiento vía Saraguro-Carboncillo.....	57
Figura 18 Ubicación de afloramientos y muestreos realizados.....	57
Figura 19: Difractograma de la muestra 1 (M1), sector Cañicapa	60
Figura 20: Difractograma de la muestra 6 (M6), sector Saraguro.....	60
Figura 21: Difractograma de la muestra 7 (M7), sector Chacaputo.	61
Figura 22: Difractograma de la muestra 9 (M9), sector Yucucapa.....	62
Figura 23: Difractograma correspondiente a la muestra 14 (M14), sector Carboncillo.	63
Figura 24: Análisis de lámina delgada, sector Cañicapa.	64
Figura 25: Análisis de lámina delgada, sector Yucucapa,	64
Figura 26: Resistencias comparativas a los 14 días de ensayo.	70
Figura 27: Resistencias comparativas a los 28 días.....	71
Figura 28: Resistencia comparativa combinación puzolana por arena, 14 días.	73
Figura 29: Resistencias comparativas, 14 días.....	74
Figura 30: a) Estufa POL-EKO. b) Trituradora RESTCH BB200 WC.	88
Figura 31: a) Pulverizador RETCH modelo RS1. b) Moldes del equipo pulverizador.	89
Figura 32: Equipo de fluorescencia de rayos X.	90
Figura 33: Método del picnómetro.....	93
Figura 34: Equipos utilizados en el ensayo del hidrómetro.....	94

Figura 35: Agitador de tamices mecánico	96
Figura 36: Equipo Mezclador.	98
Figura 37: Equipo de fluidez	99
Figura 38: Moldeo y fraguado de las probetas.	100
Figura 39: Síntesis del proceso después del curado.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas correspondientes a los puntos muestreados a diferentes parroquias del cantón Saraguro.....	11
Tabla 2: Información Climática.....	14
Tabla 3: Clasificación de puzolanas.....	29
Tabla 4: Propiedades Físicas.....	31
Tabla 5: Propiedades Químicas	32
Tabla 6: Número de muestras por puntos de exploración	42
Tabla 7: Proporción de materiales a mezclar	47
Tabla 8: Dosificación de morteros en base a las resistencias	48
Tabla 9: Proporción de materiales a mezclarse para morteros de sust. (puzolana-cemento).	49
Tabla 10: Proporción de materiales a mezclarse para morteros de sust. (puzolana-arena).	50
Tabla 11: Características físico-químicas del cemento Guapan.....	50
Tabla 12: Características físico químicas de la Cal.....	52
Tabla 13: Resultados de FRX diferentes sectores muestreados del cantón Saraguro.	58
Tabla 14: Resultados del peso específico del material a estudiar	65
Tabla 15: Resultados de la granulometría por método del hidrómetro	65
Tabla 16: Clasificación del árido ed acuerdo al módulo de finura.....	66
Tabla 17: Modulos de finura de las muestras de campo y arena de Malacatos.....	67
Tabla 18: Porcentaje más fino que pasa el tamiz #200	67
Tabla 19: Resultados del índice de puzolanidad.	68
Tabla 20: Resultados de la resistencia a la compresión de morteros ensayados a los 14 días.....	69
Tabla 21: Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días al 25-40% de sustitución.	71
Tabla 22: Resultados de la resistencia a la compresión de morteros.....	72
Tabla 23: Resultado de las resistencia a la compresión en morteros de sustitución (puzolana por arena).....	74
Tabla 24: Resumen del los resultados del recurso inferido del material puzolánico	75

Tabla 25: Proporciones para elaborar una mezcla de ensayo y una mezcla de control	98
Tabla 26: Cálculo del peso específico.....	102
Tabla 27: Cálculo del porcentaje de material pasante el tamiz #200 por lavado.	103
Tabla 28: Cálculo de la resistencia a la compresión	103
Tabla 29: Cálculo del índice de actividad puzolánica	104

RESUMEN EJECUTIVO

Los materiales muestreados en varios sectores del cantón Saraguro provincia de Loja ubicado al sur del Ecuador, se propone caracterizar de forma química, física y mecánica las propiedades del material cementante de dichos sectores, para analizar la actividad puzolánica y evaluar los beneficios que le da al hormigón adicionando directamente el material mediante el análisis de la resistencia a la compresión, evaluando finalmente el recurso inferido de dicho material.

Después de realizar el análisis mineralógico micro-macroscópicamente se despreció diferentes muestras, dando como resultado 5 sectores (M1, M6, M7, M9, M14) con potencial, las muestras del material Cañicapa M1, Cañicapa M6 y Chacaputo M7, corresponden a tobas silíceas; Yucucapa M9 corresponde a una roca dacítica y Carboncillo M14 corresponde a la meteorización de toba lapilli.

Finalmente con un total de 3 probetas de 5 x10 cm para las muestras de cada sector, se determinó el índice de actividad puzolánica ensayadas a los 7 días, obteniendo que las 5 muestras corresponde a material puzolánico; según los dos diseños experimentales propuestos, de sustitución de suelo por cemento y suelo por árido, se obtuvo que la mejor sustitución fue la combinación de puzolana por arena, obteniendo 33 Mpa como resistencia en la muestra del sector Chacaputo_M7; además, se evaluó el recurso puzolánico inferido, obteniendo 21.070×10^6 Tn de material en Carboncillo, $5.669'530.922$ Tn en el sector Chacaputo, y en Cañicapa 40.129×10^6 Tn de material.

Palabras claves: hormigón, resistencia a la compresión, recurso puzolánico inferido, tobas silíceas, toba lapilli, índice de actividad puzolánica

ABSTRACT

The south of Ecuador, it is propose to characterize in differents ways such as chemical, physical and mechanical, the properties of the cementitious material of these sectors, to analyze the pozzolanic activity and evaluate the benefits that it gives to the concrete adding directly the material through the analysis of the compressive strength, finally evaluating the Inferred resource of these material.

After that the micro- and macroscopic analysis, discarded random samples, sum as 5 sectors (M1, M6, M7, M9, M14) with potential, Cañicapa M1, Cañicapa M6 and Chacaputo M7 material samples, name to siliceous tuffs ; Yucucapa M9 name to a dacitic rock and Carboncillo M14 name to the weathering of toba lapilli.

Finally with a total of 3 test tube of (5 x 10) cm for the samples of each sector, the pozzolanic activity index was determined at 7 days, obtaining that the 5 samples corresponds to pozzolanic material; the two experimental designs proposed, the first to substitute soil for cement and second soil for arid, the best substitution was the combination of pozzolan by cement, obtaining 33 Mpa like resistance in the sample of the sector Chacaputo_M7; In addition, the inferred pozzolanic resource, obtaining $21,070 \times 10^6$ Tn in the Carboncillo sector, $5,669,530,922$ Tn in the Chacaputo sector, and in Cañicapa $40,129 \times 10^6$ Tn of material.

Key words: concrete, compressive strength, inferred pozzolanic resource, siliceous tuffs, lapilli tuffs, pozzolanic activity index

INTRODUCCIÓN

El Ecuador cuenta con la diversidad geológica más rica del mundo en donde podemos encontrar los tres tipos de rocas más abundantes que existen sobre el planeta, por su evolución y proceso tectónico, la geomorfología del Ecuador es muy diversa de Norte a Sur.

Al sur del Ecuador se encuentra el arco volcánico Saraguro en donde por sus características geológicas ha dado origen a material puzolánico que se encuentra en los alrededores del cantón Saraguro y que es usado como material de construcción y material de lastre por los habitantes de la zona.

Las puzolanas consideradas como ecomaterial, son materiales silíceos o alumino-silíceos que poseen constituyentes de sílice y alúmina. En la antigua Roma se producía cemento a partir de este material. Unitariamente las puzolanas no poseen ninguna propiedad hidráulica, pero tienen la capacidad que a temperatura ordinaria puede fijar el hidróxido de cal generando compuestos estables con propiedades hidráulicas (acción puzolánica) (ECOSUR, 2014).

Por esto se decidió realizar el proyecto “Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro” para caracterizar de forma mineralógica, química, física y mecánica y posteriormente evaluar el “recurso puzolánico inferido” de los sitios potencialmente representativos. En base a las normas internacionales ASTM y ecuatorianas NTE INEN se analizó los resultados obtenidos en diferentes ensayos químicos físicos y mecánicos determinando la capacidad puzolánica del material mediante la resistencia a la compresión de morteros de sustitución en combinaciones de puzolana por cemento y puzolana por arena.

Los resultados que se obtengan serán cruciales para los habitantes de este poblado y la región, ya que la aplicación de este material avizora en un futuro la construcción de una fábrica que produzca paneles alivianados que permitan solucionar en parte el problema de vivienda en la región, además que se lo puede utilizar como un aditivo natural para hormigones, éste último siendo de mucho interés para Consejos Provinciales y Municipios, o como material de lastre; ofreciendo así muchas fuentes de trabajo e incentivando a nuevos proyectos de investigación. Los resultados positivos de esta propuesta ofrecerán un futuro sustentable. *“La minería no metálica también es posible en Ecuador”.*

Para el presente trabajo investigativo la metodología empleada es de manera secuencial y ordenada, comenzando por el trabajo de gabinete en donde consta la parte teórica y científica necesaria, en el campo se describen afloramientos y detalla la mineralogía de forma macroscópica in situ, se recolecta muestras y se delimita el área que ocupa las puzolanas según los datos recogidos del sitio de investigación esto será posible gracias a la utilización

de softwars, una vez llevadas las muestras al laboratorio de minería y metalurgia se realizaron los ensayos químicos, mineralógicos pertinentes, en el laboratorio de suelos y resistencia de materiales se realizó los ensayos físicos y mecánicos mediante probetas cilíndricas de 10 cm x 5 cm, finalmente se retorna al gabinete para analizar los resultados de los ensayos y de forma comparativa evaluar el mejoramiento de la resistencia a la compresión de morteros al combinar el material puzolánico sustituyendo el cemento o arena que conforman la mezcla del hormigón, el trabajo finaliza evaluando de forma cuantitativa el recurso puzolánico inferido de los sitios potenciales.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Los aglomerantes se han utilizado desde los inicios de la construcción y su uso data desde los egipcios que utilizaban barro mezclado con paja para pegar ladrillos. También se han encontrado restos de cal y yeso en las pirámides, utilizados como morteros. En la misma época los chinos utilizaron materiales cementantes para la construcción de la Gran Muralla. Sin embargo, a la llegada de los romanos se produjo la expansión en el uso de estos materiales. Los romanos descubrieron que mezclando cal con cenizas volcánicas procedentes de la ciudad de Pozzoli, cerca de Nápoles, se obtenían pastas con propiedades cementantes (Gómez, 2009, pág. 15).

Después de los romanos este material cayó en desuso hasta que a mediados del siglo XVIII un ingeniero británico, llamado John Smeaton, descubrió la fabricación de un cemento hidráulico quemando piedra caliza, que contenía impurezas de arcilla.

En 1812 Louis Vicat demostró que la naturaleza hidráulica de este componente procedía de la quema conjunta de caliza y arcilla, y en 1824 Joseph Aspdin patentó el cemento Pórtland como consecuencia del parecido de los conglomerantes artificiales pétreos hechos con la piedra de portland, una caliza de la península del mismo nombre del sur de Inglaterra (Sánchez, 2002, pág. 34).

El trabajo del Dr. Agustín Paladines (2010) dentro de su obra: "Geología y Yacimientos minerales del Ecuador" enfatiza la investigación de rocas minerales industriales, dentro de este grupo se encuentran las de tipo volcánica como las pumitas, las pómez y las puzolanas que pese a ser un país muy pequeño el Ecuador según su volumen tiene una de las 10 reservas más grandes del mundo. Los yacimientos más importantes del país afloran a lo largo del graben de Quito o Fosa Interandina.

Jaigua y Vázquez (2010) realizó un estudio para determinar el comportamiento de puzolanas en hormigones en un yacimiento ubicado en las faldas del volcán Tungurahua obteniendo resultados favorables con pruebas de hormigones a 28 días con una resistencia de 503 Kg/cm² con 20% de ceniza volcánica. (Byron Jaigua, 2010, pág. 56)

INIGEMM en 2013 realizó la "Investigación de Materias Primas Minerales para la Fabricación de un Aglomerante Calco-Puzolánico, Provincia de Cotopaxi", para caracterizar nuevas materias primas en la elaboración de un aglomerante económico y de buena calidad, que sustituya parcialmente al cemento portland en la construcción y/o mejoramiento de viviendas de carácter popular, en la investigación se demostró que el precio por cada 50Kg de este aglomerante es de aproximadamente USD\$ 3,00 dólares, es decir, 60% menos que valor del

cemento común, que actualmente se encuentra en USD\$ 7,50 dólares (INIGEM, 2006), abaratando costos en la construcción de dichas viviendas.

Al sur del Ecuador la presencia de cenizas volcánicas con carácter puzolánico se encuentran en Saraguro, dado su antigüedad forman cuerpos tobáceos que actualmente se utilizan como material aglomerante (arena) en la construcción de viviendas y bloques.

1.2 Justificación

En la actualidad desde hace un par de años la situación económica ha empeorado en el país, factores como la devaluación de la moneda y la caída del precio del petróleo (este último siendo fatal para el país, ya que sus ingresos dependían del petróleo) han sido cruciales para el deterioro en la economía regional. Ecuador cuenta con una cifra alta de familias carecientes de vivienda y el número de desempleados va en aumento, haciendo que el desarrollo del país vaya lentamente o se retrase.

En el norte del país en el denominado callejón interandino existen enormes depósitos de piedra pómez, pumitas y puzolanas, los cuales por el volumen de reservas se estima que cuentan entre los 10 más grandes del mundo (PALADINES & SOTO, 2010).

Las Puzolanas están constituidas de polvo y cenizas volcánicas relacionadas a la actividad volcánica. Los depósitos se encuentran alrededor de centros volcánicos antiguos y se acumulan formando grandes relieves colinados.

En los últimos años se ha incrementado la producción de puzolanas en el país, lo cual se refleja en la producción de cemento puzolánico en las fábricas de cemento, así como en la elaboración de bloques alivianados para la construcción de vivienda (PALADINES & SOTO, 2010).

Es de conocimiento que en el cantón Saraguro hay una reserva de material con presunta actividad puzolánica no determinado y no caracterizada, si los resultados obtenidos en base a estándares internacionales son favorables se podría atender problemas de vivienda y desempleo de la región. Además, este mismo material puzolánico podría servir como un aditivo y/o variable de sus componentes en el hormigón mejorando las propiedades del cemento portland.

El cemento puzolánico cuenta con excelentes propiedades como: Aumento de la resistencia a la tracción, disminución del calor de hidratación, se necesita menos cantidad de agua, mejora la resistencia en la abrasión, además tiene un aumento significativo en la reducción de grietas en el fraguado, (SALAZAR, 2010). Tiene un impacto medioambiental muy bajo,

convirtiéndolo en un ecomaterial amigable con el ambiente, siendo éste un proyecto sustentable a futuro para la región.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Caracterizar geológica y mecánicamente el material y determinar la actividad puzolánica del mismo de diferentes sectores de parroquias del cantón Saraguro y de manera cuantitativa estimar el recurso inferido de dicho material, probando su potencial uso y aplicación.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar de forma geológica, química, mineralógica y física del material puzolánico muestreado en varios sectores del Cantón Saraguro.
- Determinar mediante ensayos mecánicos el índice de actividad puzolánica del material y el efecto que tiene el material puzolánico en la resistencia a la compresión de morteros de albañilería.
- Cuantificar el recurso inferido de material puzolánico en diferentes sectores del cantón Saraguro a través del software GIS
- Determinar las posibles aplicaciones del material puzolánico.

CAPÍTULO II

ASPECTOS FÍSICOS – GEOGRÁFICOS DE LA ZONA

2.1 Localización geográfica

El cantón Saraguro, se encuentra ubicado en el Norte de provincia de Loja y al sur del país (Fig. 1), emplazado sobre arco volcánico Saraguro. Es uno de los cantones más extensos de la provincia de Loja cuenta con una superficie de 1080.70 km² (108270.25 ha). Los puntos extremos del cantón en coordenadas UTM son: N (672200; 9632792), S (700592; 9588789), E (711754; 9599870), W (666942; 9601326). (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015)

El material de las canteras y afloramientos con alto potencial corresponden a las siguientes parroquias del cantón Saraguro (Fig. 1; Tabla 1).

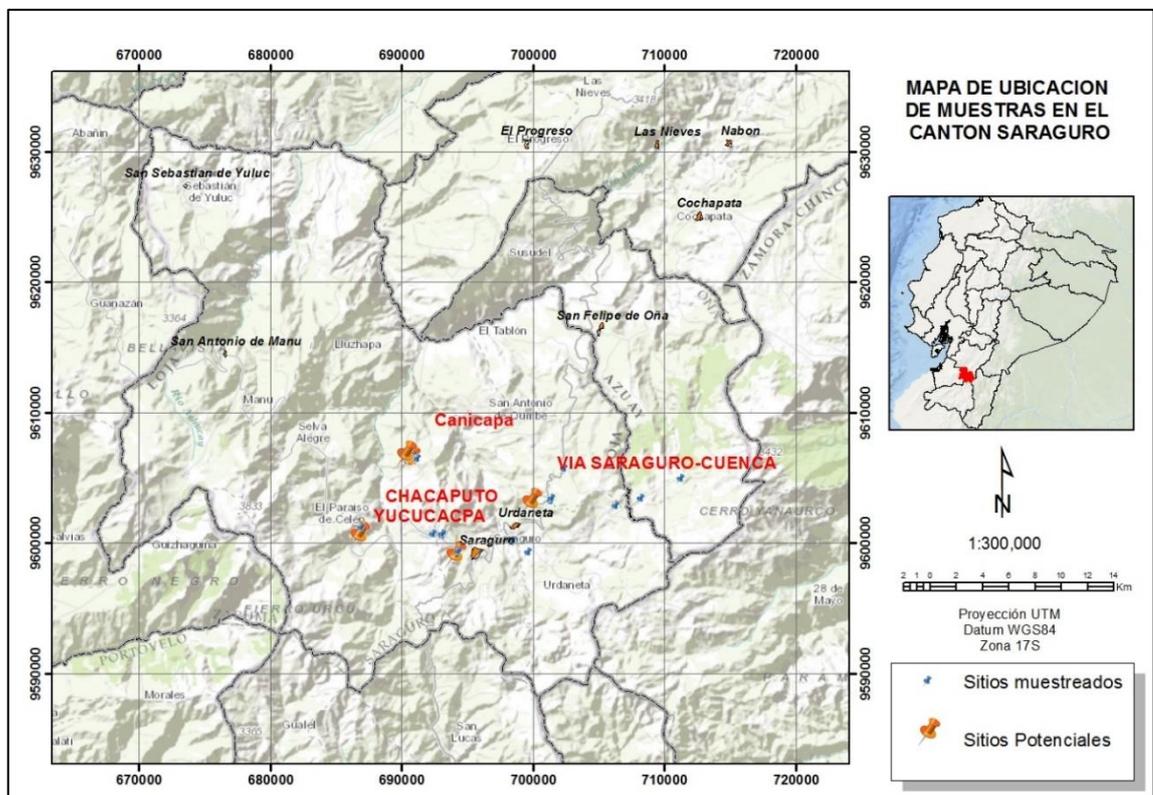


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Fuente: IGM

Elaboración: Autor

Tabla 1: Coordenadas correspondientes a los puntos muestreados a diferentes parroquias del cantón Saraguro.

Parroquias	Sitios o lugares de referencia	Puntos	Coordenadas UTM		
			X	Y	Z
San Pablo de Tenta	Cañicapa	1	690598	9606032	2580
		2	690464	9606232	2601
		3	690635	9606225	2564
		4	690417	9606462	2532
		5	690390	9606766	2461
		6	690598	9606565	2500
		7	691073	9606428	2549
	Parte baja de Cañicapa	8	690426	9606974	2338
		9	690172	9606796	2338
Celén	Chacaputo	10	686527	9600423	2690
		11	686513	9600455	2587
		12	686579	9600629	2654
	Zunín	13	686809	9601163	2724
Saraguro	Vía Yucucapa	14	692956	9600520	2825
		14.1	692932	9600640	2848
		14.2	692256	9600671	2848
	Yucucapa	15	693914	9599101	2656
		16	699498	9599261	2642
		17	694170	9599286	2643
Urdaneta	Vía Saraguro-Cuenca (Carboncillo)	18	698266	9600127	2289
		19	702214	9605665	3011
		19.1	702214	9605665	3011
		20	699682	9603164	2786
		20.1	701225	9603168	2867
		20.2	701260	9603402	2895
Urdaneta y Oña	Vía Yacuambi-Saraguro	21	706139	9602788	2964
		22	708067	9603370	3069
		23	711096	9604866	3169

Fuente: Autor.

Elaboración: Karla Daniela Malla Calderón

2.2 Acceso

El principal acceso al cantón Saraguro es la vía principal panamericana (E35), tramo que comprende 73 km partiendo desde la ciudad de Loja carretera que consta de concreto rígido. (Fig. 2)

El traslado a los diferentes lugares de estudio del cantón Saraguro se lo realizó por carreteras de segundo y tercer orden, dividiéndolas en tres tramos.

Tramo Saraguro-Yucucapa-Cañicapa (A-B-C) comprende 11,7 km, carretera de segundo orden que consta de una carpeta asfáltica, lastrada en ciertos tramos (Fig. 2).

Tramo Saraguro-Chacaputo (A-D) comprende 20,9 km, carretera de segundo orden que consta de una carpeta asfáltica aproximadamente los primeros 6 km, continúa lastrada hasta llegar al lugar de estudio (Fig. 2).

Tramo Saraguro-Carboncillo (A-E) comprende 16,1 km. Atravesada por la carretera panamericana vía a Cuenca (tramo E35) consta de concreto rígido (Fig. 2).



Figura 2: Mapa de acceso a los diferentes lugares muestreados en el cantón Saraguro.

Fuente: Google Earth

Elaboración: Karla Daniela Malla Calderón.

2.3 Hidrografía

Según el (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015) el cantón Saraguro pertenece a la cuenca hidrográfica del río Jubones que se encuentra al norte de Loja,

formando parte de las provincias de Azuay, El Oro y Loja, al margen izquierdo de la cuenca, el río se denomina Oña, el mismo que también constituye el límite geográfico entre las dos provincias, para aguas abajo unirse con el río León y formar el río Jubones (Fig. 3).

Dada la irregularidad topográfica el sistema de drenaje es dendrítico, todos los afluentes siguen una dirección sur norte para llegar al río León y luego al Jubones. El río que inicialmente alimenta a la cuenca hidrográfica del río Jubones es el río San Antonio, que se origina en los páramos de la cordillera oriental de Saraguro, que es afluente del Oña, que aguas abajo se denomina Oña y finalmente Jubones. El río San Antonio y el Oña, tiene una longitud de 25Km. El León 28 Km y el Jubones 15 Km.

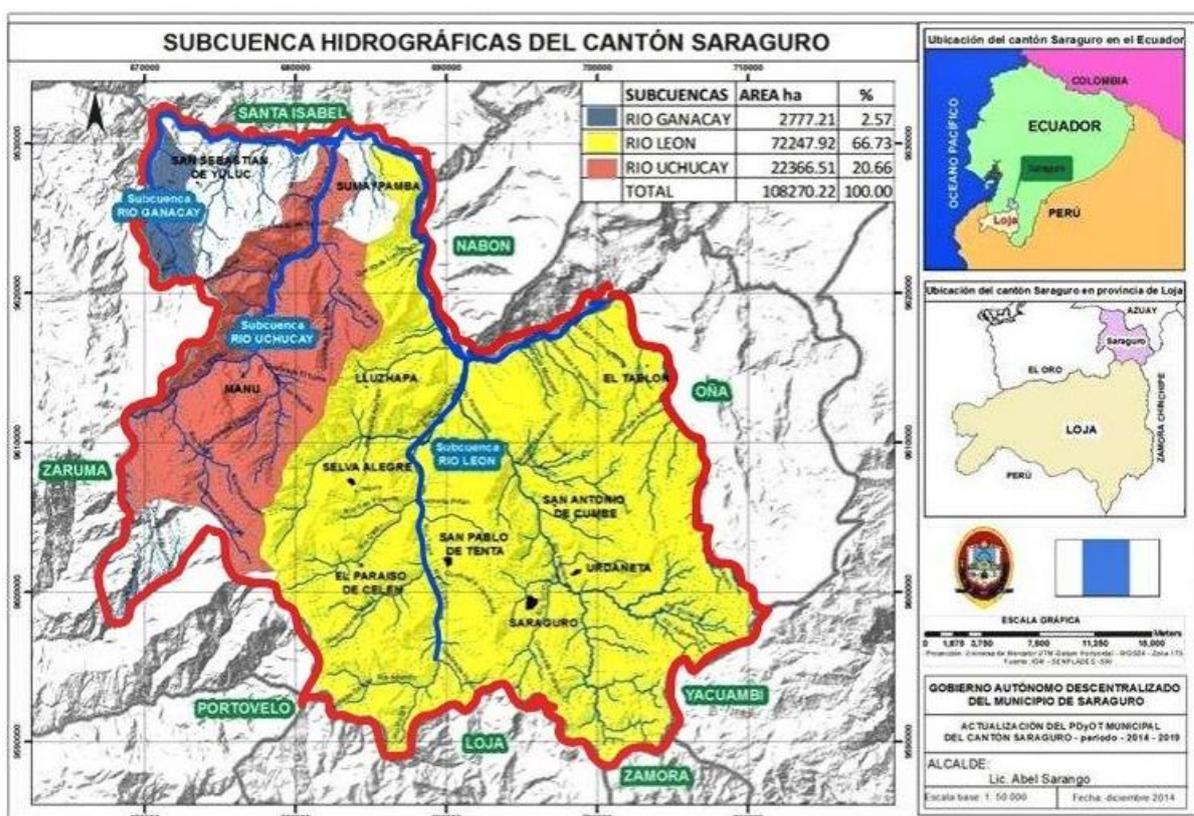


Figura 3: Subcuencas Hidrográficas del Cantón Saraguro.
 Fuente: (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015)
 Elaboración: (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015)

2.4 Clima.

Los valores de pluviosidad van entre los 750 a 1250 mm, los meses que presentan abundantes lluvias son noviembre a mayo. La época de fuertes vientos están entre los meses de junio a septiembre, y las heladas en los meses de diciembre a enero; la humedad relativa oscila de 80 a 88% (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015).

Los valores anuales de temperatura media fluctúan entre los 8°C (Saraguro) a 22°C (Sumaypamba) y las alturas oscilan entre los 3880 msnm en el Cerro de Arcos hasta los lugares más bajos en las parroquias de Sumaypamba y Yúluc a 1150 msnm (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015).

Los tipos de climas que se encuentran en el cantón Saraguro son: Ecuatorial de Alta Montaña, Ecuatorial Mesotérmico Seco, Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo. Y se localiza en las 9 parroquias del cantón Saraguro (Tabla 2; Fig. 4) (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015).

Tabla 2: Información Climática

	TIPO DE CLIMAS	ÁREA ha	%
	Ecuatorial de Alta Montaña	9668.08	8.93
	Ecuatorial Mesotérmico Seco	4220.87	39.01
	Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo	56371.27	52.07
	TOTAL	108270.22	100.00

Fuente: (PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL, 2015).

Elaboración: GAD Municipal Intercultural de Saraguro.

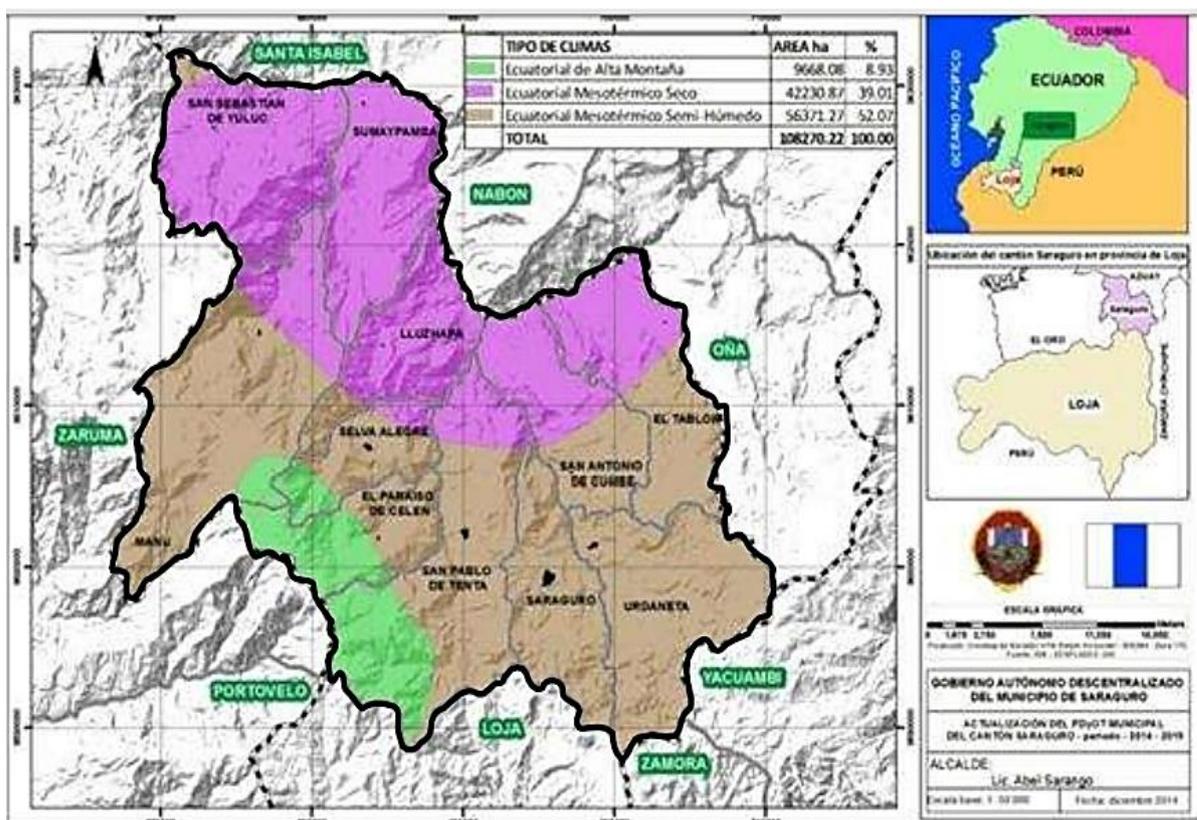


Figura 4: Tipos de climas del cantón Saraguro

Fuente: (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015)
Elaboración: (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015)

En la provincia de Loja, los bosques de neblina se asientan en los dos flancos de la cordillera Oriental de los Andes, hacia el Este, por sobre los 3000 metros de altitud, donde también se registran cifras récord de pluviosidad (increíblemente cifras anuales superiores a 4000 mm); en contraste, los bosques secos asoman hacia el Oeste, entre los 100 y 1200 metros de altitud, en este caso producto de la influencia del aire seco que ingresa en el cantón desde el desierto de Sumaypamba. El fenómeno de abrigo, sin embargo, se puede vislumbrar con facilidad desde los valles bajos y en muchos pequeños valles de la intrincada orografía cantonal.

2.5 Flora

La vegetación, los bosques con el criterio de importancia relativa como recurso natural y de superficie espacial cubierta en el territorio cantonal, se los clasifica de la siguiente manera bosque húmedo denso, bosque húmedo intervenido, matorrales y plantaciones forestales. (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015)

En el cantón se encuentra una diversidad de especies forestales en los relictos de bosques y bosques ralos en las que encontramos algunos géneros importantes como: *Podocarpus montanus* romerillo, *Persea serica*, canelo blanco; *Alnus jorullensis*, aliso; *Rapanea soridoana*, macomaco; *Maitenus* spp., resna; *Roulapa* spp. ucacedro; *Delostoma loxensis*, guaylo; *Escallonia pendula*; shinín; *Myrcianthes* spp., Guaguel; *Pouteria lucuma*, lumas; *Prunus capulí*, capulí, *Vallea stipularis*, niguito; *Salix humboldtiana*, sauce; *Juglans neotropica*, nogal; *Cinchona* spp, cascarilla; *Ficus* spp. higuierón; *Weinmannia* spp, cashcos; *Ocotea* spp. Canelón; *Erythrina edulis*, guato; *Oreopanax* spp., pumamaqui; *Myrica* spp., laurel de cera; *Ternstroemia macrophylla*, duraznillo. En la parte baja, *Myrcianthes*, saca; *Eugenia*, Tara spinosa, vainillo; *Acacia macracantha* faique; *Annona cherimolia*, chirimoya; *Escallonia pendula*, shinín; *Inga* spp, guaba; *Mauria simplicifolia*, aguacate de montaña, entre otras. (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015).

2.6 Fauna.

Las principales especies de aves que se encuentran en el cantón son: torcazas, pavas de monte (*Penelope barbata*), en parte alta zona con abundantes venados y perdices de páramo. En la actualidad con las montañas dañadas o seccionadas, la vida silvestre se vuelve difícil. Los nichos naturales y extensos se han destrozado. Existen animales que poco se desplazan o no tienen esa capacidad y consecuentemente van desapareciendo o son presa fácil de los destructores. (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015).

2.7 Actividad minera.

Como es típico en el sur del país la actividad minera del cantón Saraguro se realiza de manera informal sin ninguna técnica para la realización de labores. Según el (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO , 2015) en el cantón se realiza tres tipos de explotación de minerales: metálicos, no metálicos y de materiales de construcción. La mayoría de los minerales a explotar son metálicos.

La zona de estudio está enfocada en la caracterización de canteras de materiales de construcción como por ejemplo la llamada “arena de Cañicapa” a continuación se describe la actividad minera que se realiza en las parroquias correspondientes a la zona de estudio.

2.7.1 Actividad minera: San Pablo de Tenta.

En la parroquia de San Pablo de Tenta la explotación minera es a pequeña escala, dentro de la extensión de la parroquia solo 5,5 ha son concesiones mineras en producción, las mismas se encuentran ubicadas en las comunidades de Cañicapac y Llavicocha, el principal producto extraído es la arena, abasteciendo a comunidades de las parroquias: San Pablo de Tenta, Saraguro, Urdaneta, San Antonio de Cumbe y El Tablón (Equipo Técnico GDP San Pablo de Tenta, 2015).

2.7.2 Actividad minera: El Paraíso de Celén.

Actualmente en la parroquia El Paraíso de Celén se encuentran cuatro hectáreas en producción. Existen dos lugares de explotación de arena que están ubicadas en el barrio Zunín- Pacay (Fig. 5) y una de explotación de piedra situada en el barrio Santa Rosa. (Equipo Técnico GADP Parroquia El Paraíso de Celén, 2015)



Figura 5: Conseción minera artesanal “Chacaputo”, barrio Zunín-Pacay.
Elaboración: (Equipo Técnico GADP Parroquia El Paraíso de Celén, 2015)

2.7.3 Actividad minera: Urdaneta.

La parroquia de Urdaneta por sus características geológicas ha dado lugar a la minería artesanal para material pétreo que ocupa alrededor de 2,54 ha, y también de libre aprovechamiento que consta de un área de 3,95 ha (Fig. 6) (Equipo Técnico GDP Urdaneta, 2015).

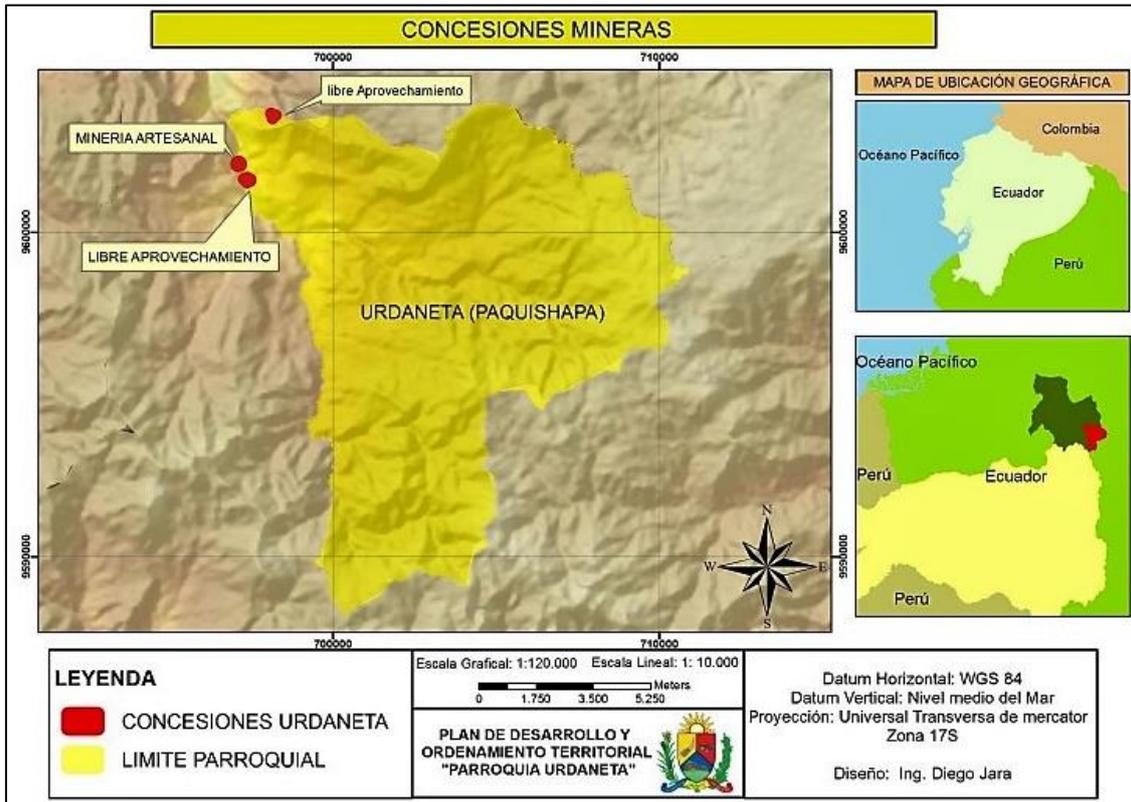


Figura 6: Mapa de concesiones mineras Urdaneta
 Fuente: ARCOM, 2015
 Elaboración: (Equipo Técnico GDP Urdaneta, 2015)

CAPÍTULO III

GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Geomorfología

El área de estudio se ubica en los Terrenos Olmos-Loja, específicamente dentro del arco volcánico continental Saraguro, el basamento conformado por la unidad Chiguinda correspondientes al paleozoico temprano hasta medio, que constan de rocas constituyentes de la Cordillera Occidental.

Las unidades genéticas del relieve corresponden a formas de origen Tectónico-erosivo, modelado glacial, formas estructurales, formas deposicionales y formas denudacionales. La morfología del cantón está compuesto por colinas, valles encajonados y relieves montañosos escarpados que hacia la parte Occidental del cantón se muestra muy irregular con pendientes muy escarpadas influencia por modelado glacial y con ríos profundos que forman valles en "V". Hacia el oriente la cordillera ha sido más afectada por procesos erosionales con influencia glacial donde da a lugar a una diversidad de lagunas heredadas de aquellas formas, predominada por clima de páramo forma hacia el norte de Saraguro un relieve estructural de altiplanicie suavemente disectada limitada en sus flancos por escarpes subverticales de rocas volcánicas. Los valles aluviales se restringen al río León donde se pueden encontrar terraza aluviales compuestos por cantos angulosos, gravas y arenas. Un sinnúmero de deslizamientos ocurren en todo el cantón, siendo más visibles en los flancos por donde existen carreteras.

3.2 Contexto Geológico

3.2.1 Geología Regional

El arco volcánico continental Saraguro se encuentra sobre el Terreno Olmos-Loja que constan de rocas metamórficas del Paleozoico temprano hasta medio, las rocas de edad Paleozoica temprana forman el basamento sobre el cual se desarrollan esta secuencia de rocas volcánicas. (Palacios, Pillatasig, Sánchez, et al., s.f). Dando lugar a importantes yacimientos de Au, Ag, Cu, como rocas y minerales industriales.

Según la obra del Dr. Agustín Paladines (2010), durante el Paleoceno, comenzó el desarrolló la región tectónica Austral, denominándola así Zona Transversal Puná Méndez (estructuras tectónicas orientadas en sentido transversal), al sur de la ZTPM a partir del Eoceno tardío hasta el Mioceno Inferior, aparece una fase sinorogénica del magmatismo continental, de composición calco-alcalina, constituida por andesitas, riolitas, riodacitas y sus tobas que en conjunto forman el grupo Saraguro, que conforman el arco volcánico continental Saraguro.

A continuación, se describen las formaciones geológicas que se encuentran en el cantón Saraguro.

3.2.2 Grupo Saraguro (Eoceno tardío-Mioceno temprano).

El Grupo Saraguro ocupa en su totalidad el área a estudiar, haciendo énfasis en su alto potencial de rocas industriales que posee y del que está compuesto este cantón, se describe a detalle a continuación tomando información de algunos autores principalmente Pratt et al. (1997), y aportes del trabajo de Hungerbühler, et al. (2002).

Así tenemos que Dunkley & Gaubor (1997), Pratt, Figueroa, & Flores (1997) y Duque (2000), éstos autores denominan como una secuencia de rocas volcánicas subaéreas, de composición calcoalcalina, intermedias a ácidas, predominando rocas de composición andesíticas a riolíticas del Terciario Superior como Grupo Saraguro.

Según Chérrez, 2011, basandose en análisis petrográficos y aportes de Pratt, Figueroa, & Flores (1997) define las rocas del Grupo Saraguro en tres composiciones diferentes:

- Tobas andesíticas de color verde, con abundante plagioclasa, anfíbol y cristales de augita. La textura vitroclástica es rara y la foliación de soldadura es poco desarrollada.
- Tobas dacíticas que contienen feldespato +/- anfíboles y algunos cristales de cuarzo en una matriz café a rosada. Lapilli de pómez son comunes.
- Tobas riolíticas blancas, café claras y rosadas. Textura vitroclástica es común; la biotita es un componente importante en algunas tobas.

La mayor parte del Grupo Saraguro está compuesto por volcánicos indiferenciados, sin embargo Pratt, Figueroa, & Flores (1997) y el INIGEMM (2015) lo dividió al área en cuatro formaciones tobáceas: La Formación Las Trancas, La Formación Toba Jubones, La Formación Toba La Fortuna y La Formación Toba La Paz, mas la unidad Portovelo (Fig. 7).

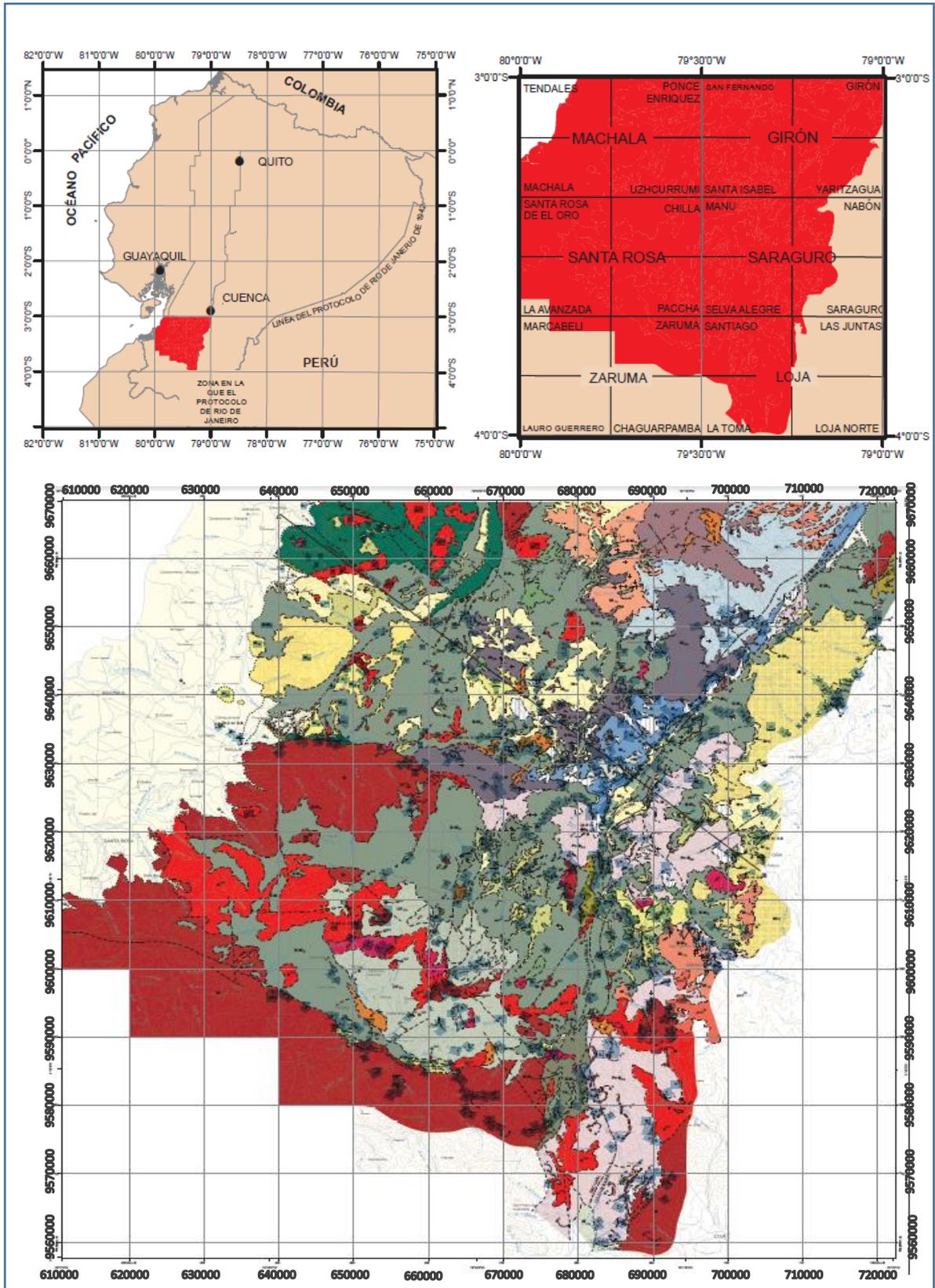


Figura 7: Mapa Geológico De La Cordillera Occidental Del Ecuador Entre 3° - 4° S Escala 1:200.000.
 Fuente: Pratt W. (1997)
 Elaboración: Autor

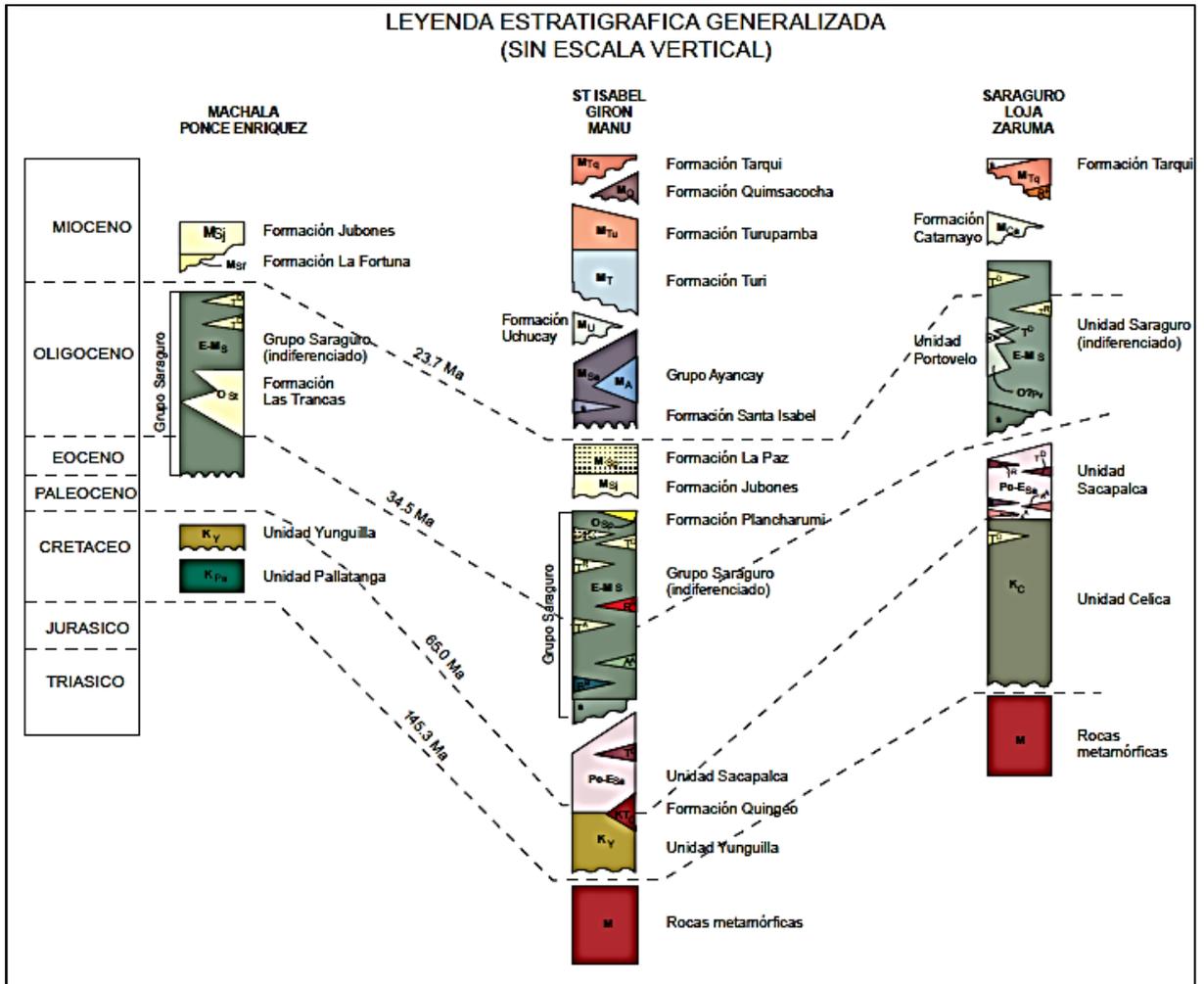


Figura 7: Mapa Geológico De La Cordillera Occidental Del Ecuador Entre 3° - 4° S Escala 1:200.000. Fuente: Pratt W. (1997) Elaboración: Autor

En el grupo Saraguro es donde se encuentran los mayores depósitos con material de carácter puzolánico y que serán indagados en esta investigación.

3.2.2.1 Formación Las Trancas (O_{St}).

Se presenta en el occidente hacia el sur de Ponce Enríquez en la planicie costera. Litológicamente está constituida por tobas de lapillí líticas, andesíticas y dacíticas, conglomerados, brechas tobáceas, areniscas y lutitas rojas. Fragmentos metamórficos típicos del basamento del arco volcánico, de esquistos y gneises son comunes, al igual que moscovita. Los estratos más antiguos sobreyace hacia el W, cortando aproximadamente 1.5 km del Grupo Saraguro, hasta que yace directamente sobre la Unidad Pallatanga. (Pratt, Figueroa, & Flores, 1997)

3.2.2.2 Formación Jubones (M_{Si}).

Se encuentra cerca del tope del Grupo Saraguro, se encuentra presente en la carretera Cuenca Pasaje y en Río Minas. El afloramiento ocupa al menos una extensión de menos 2700 km² con un espesor máximo de 500 m. Al sur se encuentra esta formación expuesta en un estrecho graben en Guanazán, y al norte con un área de 60 km en Pimo (Dunkley & Gaibor, 1998). Ésta Formación sobreyacen los más antiguos estratos del Grupo Saraguro con una fuerte discordancia angular en algunos lugares. Litológicamente, es rica en cristales de plagioclasa, biotita y cuarzo. Cerca de Santa Isabel se dató la toba por K/Ar (biotita) como del Mioceno Temprano (22.76 ± 0.97 Ma). Una datación por trazas de fisión, cerca de Oña, dio 23.0 ± 2.2 Ma (Hungerbühler, 1997).

3.2.2.3 Formación La Paz (M_{Sp}).

Cubre un área alrededor de 600 km² y está restringida al este del Sistema de Fallas Girón. El principal afloramiento entre la localidad La Paz, Oña y Saraguro. Litológicamente comprende tobas ricas en cristales con abundantes cristales grandes de cuarzo y plagioclasa. Esta Formación cubre un espesor máximo cercano a los 400 m. Se ha obtenido una edad de trazas de fisión de 22.5 ± 0.9 Ma Mioceno Temprano. (Pratt, Figueroa, & Flores, 1997).

3.2.2.4 Formación La Fortuna (M_{St}).

Cubre al menos un área de 450 km² con incoformidad angular sobreyace estratos más antiguos, cerca de La Enramada (659300, 9650400) buza gentilmente desde el páramo, hasta la planicie costera en Pasaje. El espesor máximo alcanzan los 600 m. Geoquímica y petrográficamente es muy similar a la toba de la Formación Jubones pero con una mayor cantidad de matriz fina (vitroclastos) y contiene únicamente cristales diseminados de plagioclasa diseminados de plagioclasa, biotita y cuarzo. (Pratt, Figueroa, & Flores, 1997).

3.2.2.5 Unidad Portovelo ($?O_p$).

Sobreyace inconformemente al basamento metamórfico, aflora al norte de la Falla Piñas-Portovelo entre Zaruma y Huertas (654000, 9601700), en Salvias (662000, 9596400) y en el Río San Luis (672100, 9593100). Litológicamente comprende lavas basalto-andesíticas y andesíticas, ricas en cristales (plagioclasa, anfíbol y augita), tobas andesíticas muy meteorizadas y tobas dacíticas. Los datos geoquímicos indican una composición andesítica de afinidad calco-alcalina, típica del Grupo Saraguro. Antes considerados como parte de la Formación Celica y/o Formación Piñón (Pratt, Figueroa, & Flores, 1997) .

Estudios más recientes como el de Hungerbühler, et all. (2002) analiza la estratigrafía del Grupo Saraguro en 2 formaciones en base a trazas de fisión en zircón, reduciéndolo en 2 formaciones: Fm. Loma Blanca y Fm. Saraguro (Fig. 8). Estudios que hasta ahora han sido los más recientes ya que INIGEMM (2015), solo hizo una recopilación de Pratt, Figueroa, & Flores (1997), pero ambos estudios comparten la misma composición litológica de las rocas características de este arco volcánico (piroclastos de composición intermedia a ácida).

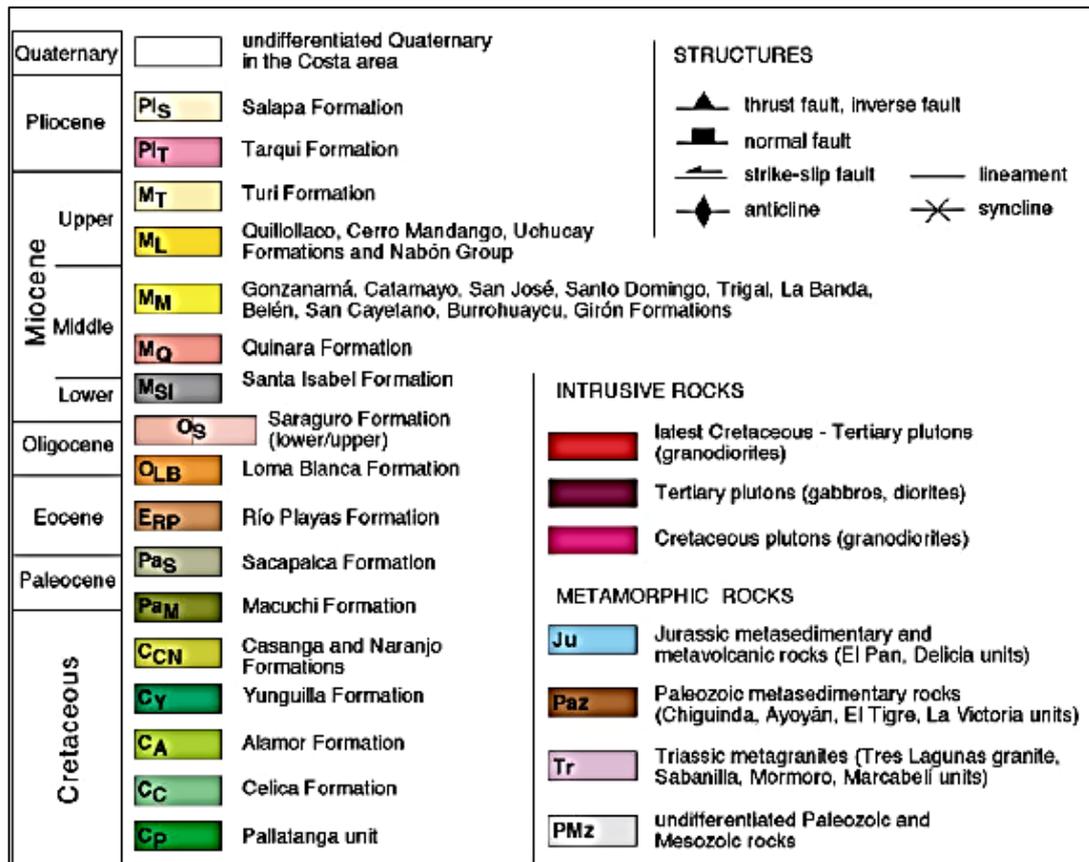


Figura 8: Geological map of southern Ecuador between 2.54° S to 4.25°S. Fuente y Elaboración: Hungerbühler, et all. (2002).

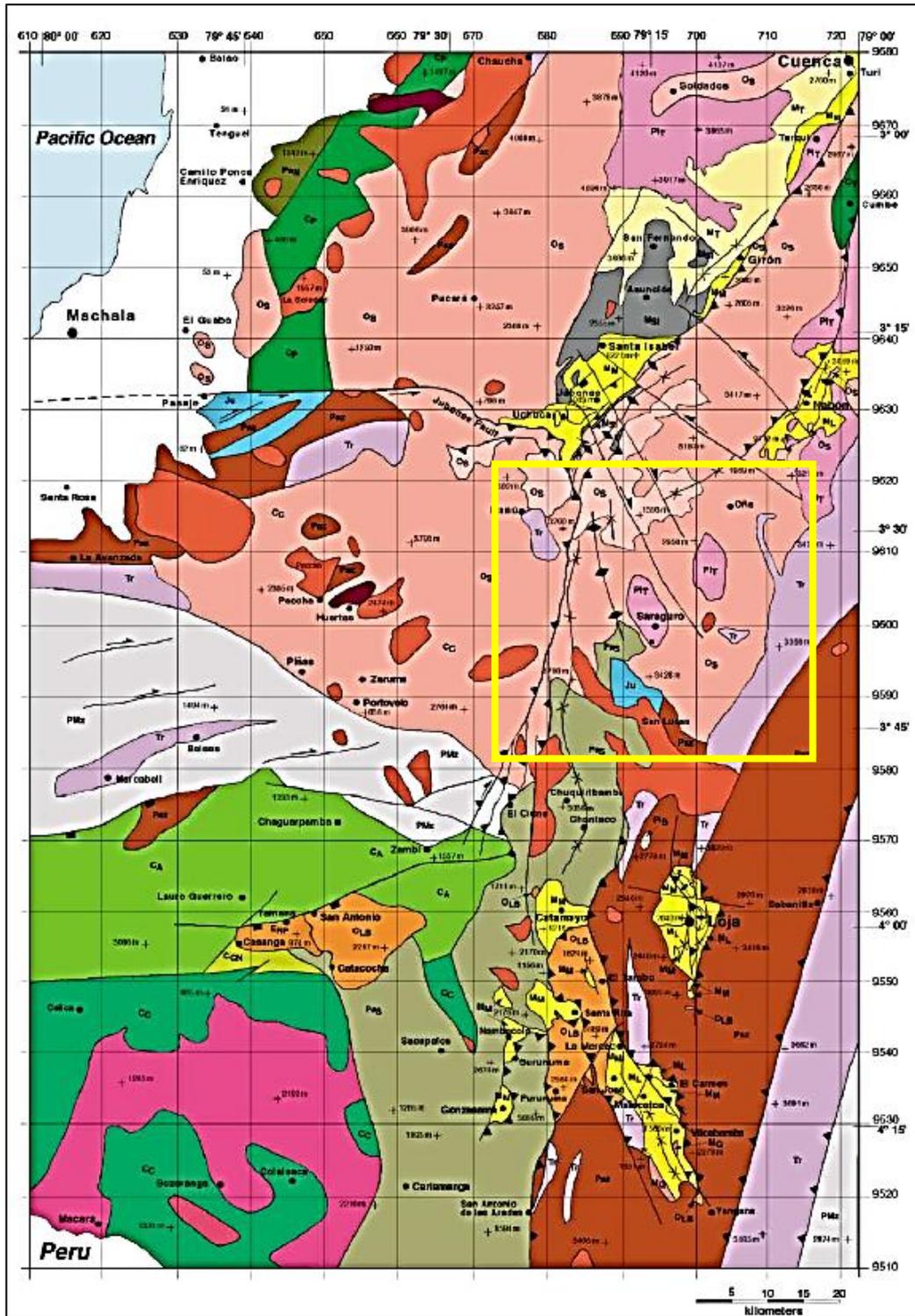


Figura 8: Geological map of southern Ecuador between 2.54° S to 4.25° S.
Fuente y Elaboración: Hungerbühler, et al. (2002).

3.2.3 Formación Loma Blanca (OLB).

Con un espesor de 2000 m , aflora en dos áreas principales, una entre Catamayo y Malacátos, la otra al N y E de Catacocha además en pequeñas ocurrencias al sur de Loja. Litológicamente

consta de rocas piroclásticas ácidas a intermedias, principalmente ignimbritas, tobas y brechas volcánicas. La Formación Loma Blanca a menudo se la confundía con la Formación Saraguro que es más joven, con similares depósitos litológicos pero las diferencian las edades y regiones geográficas (Hungerbühler, et al. 2002).

3.2.3.1 Formación Saraguro (O_s).

Esta formación está bien expuesta alrededor de Saraguro, litológicamente consta de lavas riolíticas, brechas y tobas. La Formación volcánica Saraguro está formado por tres miembros; el miembro inferior caracterizado por flujo de lava volcánico riolíticas y brechas, el miembro medio por brechas andesíticas hornblenda-piroxeno y el miembro superior formada por brechas riolíticas y dacíticas. Estas formaciones silíceas fueron intruidas por pórfidos de cuarzo y cuarzodioritas, donde destacan depósitos hidrotermales de silice en brechas o brechas ácidas de tipo hidrotermal. (Vera, 2013, pág. 105)

3.2.3.2 Formación Tarqui (Mioceno Tardío).

Aflora principalmente en las faldas orientales de la caldera de Quimsacocha, donde sobreyace la Formación Turi, y en el páramo entre Oña y Saraguro. Cubre todas las formaciones más antiguas inconformemente y alcanza un espesor máximo, cerca de 400m, al W de Saraguro. En contraste, al norte de Saraguro, las rocas son principalmente delgadas capas de tobas, algunas formadas por caída en aire, conglomerados tobáceos y areniscas tobáceas. Son comunes los remanentes de plantas y hay algunos carbones. (UNDP, 1969)

Una distintiva toba lítica de lapilli, riolítica, amarilla, de al menos 160 m de espesor, forma la mayoría de la secuencia alrededor de Saraguro (695500, 9598500). Comprende una matriz arenosa, rica en fragmentos líticos angulares, cuarzo, feldespato y biotita; con fragmentos angulares de 10 a 50 mm de largo de andesita y una toba soldada rica en cuarzo. La misma toba ocurre cerca de Jera (694900, 9603300) donde tobas silicificadas de Saraguro están sobreyacidas por 3 m de brecha y más de 50 m de toba de lapilli lítica. La base de la toba contiene impresiones grandes de árboles. La Formación Tarqui se asigna una edad Mioceno Tardío (Dunkley & Gaibor, 1997) aunque es intruida por dacita subvolcánica en Saraguro, la cual ha sido datada por trazas de fisión en 9.6 ± 0.5 Ma.

CAPÍTULO IV
MARCO TEÓRICO

4.1 Puzolanas: Generalidades

4.1.1 Definición.

Según el código ASTM C 618 (2005), define: “las puzolanas son materiales silíceos o aluminio-silíceos donde predomina el componente amorfo que por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han molido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes.”

Dependiendo del lugar en el que se han difundido el material puzolánico, y el tiempo geocronológico de distintas zonas volcánicas tenemos puzolanas: bien antiguas (texturas porfídicas) o bien modernas (texturas vítreas), distintos países le han dado diferentes nombres: puzolanas (Italia, España), tierra de Santorín (Grecia). (Mella, 2004).

4.1.2 Reseña histórica.

La condición activa del volcán Vesubio hizo que la pequeña población Puzzuolli utilizara el material volcánico que aflora en la superficie le permita mezclarlo con “la cal” material antes ya conocido por sus propiedades cementantes, formando así una pasta con acción cementante hidráulica, permitiendo que en base a esta mezcla la civilización Romana construyera grandes edificaciones que aún se mantienen en pie una muestra de ellos es el Panteón Romano contruido en el año 125 d.C.

No es sino hasta el siglo XVII que los ingleses mezclaron material volcánico con cemento y lo aplicaron en obras ingenieriles como en puertos y defensas marítimas descubriendo su alto potencial en entornos marinos.

Las aplicaciones contemporáneas de éste material se hicieron más comunes tanto que en Estados Unidos se ha construido cuantiosas obras ingenieriles emblemáticas de ese país, tal como lo explica Gómez (2009), “A partir de la construcción, en 1912, del acueducto de Los Ángeles, dónde se invirtieron 100.000 toneladas de cemento, la mitad producido a partir de puzolanas, se desarrollaron grandes investigaciones en el campo en los EEUU. Demostraron que los cementos portland mezclados con puzolanas adquirirían buenas propiedades, como la impermeabilidad y la resistencia a ambientes agresivos”. Una de las características principales del uso de puzolanas en Estados Unidos es la reducción de costos.

4.1.3 Clasificación de las puzolanas.

La definición de puzolana dada por la ASTM C 618 (2005) ha sido objeto de muchas críticas a la hora de la clasificación, ya que se ha probado la existencia de materiales que aún saliendo de los límites químicos establecidos por la norma antes mencionada presentan un comportamiento netamente puzolánico. Por tanto debe tomarse como un punto de partida aproximado y no como una verdad absoluta, ya que factores geológicos y el tiempo geocronológico hace que la estructura del material no sea igual en todos los lugares del planeta dónde hay evidencia de vulcanismo (Gómez, 2009).

Recopilando información de varios autores, tenemos que las puzolanas se clasifican en dos grandes grupos: puzolanas naturales y artificiales, pero hay un grupo de puzolanas denominado intermedio o mixtas ya que si bien es de origen natural requiere un tratamiento análogo que se aplica para obtener puzolanas artificiales (tratamientos térmicos de activación para incrementar su hidráulicidad). (Tabla 3)

Tabla 3: Clasificación de puzolanas

CLASE	CONSTITUYENTE ACTIVO ESCENCIAL	MATERIAL PUZOLANICO
Puzolanas Naturales	1. Vidrio Volcánico. 2. Ópalo. 3. Minerales de arcilla. a) Grupo de la caolinita b) Grupo de la montmorillonita. c) Mezclas de arcillas 4. Zeolitas	Ceniza riolítica, toba riolítica Diatomita, radiolarita, chertopalino Tobas y pumicitas alteradas, caolín. Pizarras opalinas, bentonita. Silts y arcillas lacustres, depósitos tipo playas Tobas y cenizas zeolíticas Bauxitas
Puzolanas Artificiales	5. Óxidos de aluminio hidratados Cenizas volantes (Fly ash). Esquistos bituminosos	

Fuente: Mella (2004)

Elaboración: Autor

4.1.3.1 Puzolanas naturales.

Según el código ASTM C 593 (2005), define: “puzolanas naturales: materiales que, en su estado natural, presentan propiedades puzolánicas, como algunos depósitos de ceniza y lava volcánica”

En su mayoría las rocas eruptivas (efusivas o volcánicas) son los principales constituyentes de materiales puzolánicos naturales así como también las de origen orgánico formados en ambientes sedimentarios, poseen propiedades puzolánicas intrínsecas y otros materiales de origen natural que puede ser inducido mediante tratamientos térmicos.

El origen y formación de las puzolanas naturales están relacionadas intimamente con su composición y textura, factores fundamentales que determinan las propiedades del material puzolánico, que la hacen útil para el mejor aprovechamiento en la industria del cemento. Las puzolanas naturales pueden tener dos orígenes distintos. Uno puramente mineral, y otro orgánico.

Según el análisis de Mella (2004) afirma: “Las puzolanas naturales de origen mineral son producto de transformación del polvo y “cenizas” volcánicas que, como materiales piroclásticos incoherente procedentes de erupciones explosivas, ricos en vidrio y en estado especial de reactividad, son aptos para sufrir acciones endógenas (zeolitización y cementación) o exógenas (argilización), de las cuales las primeras son favorables y las segundas desfavorables.” A lo largo del tiempo geocronológico, agentes externos como la meteorización, la acción de las aguas circulantes subterráneas y comunmente la acción de las aguas termales y acción fumarólica hace que éstos materiales se convierten en tobas, es decir, en rocas volcánicas, más o menos consolidadas y compactas, cristalinas, líticas o vítreas, según su naturaleza. Una estructura básica de este tipo de rocas es la porosidad que presenta producida por el escape de gases.

Las puzolanas naturales de origen volcánico se caracterizan por su textura de grano fino, estructura imperfecta o amorfa, además una composición silico-aluminosa, estas características hacen que el material puzolánico sea apto para el uso en aditivos activos, contribuyendo sustancialmente en la mejora de las propiedades hidráulicas del cemento; para que la combinación puzolana cemento adquiera propiedades hidráulicas debe hidratarse y así obtener los beneficios en cuanto a resistencia del cemento.

El segundo tipo de puzolanas, son las puzolanas naturales de origen orgánico, estos depósitos fueron formados por acumulación de esqueletos y caparzones silíceos de animales (infusorios radiolarios) o plantas (algas diatomeas). Estos yacimientos presentan abundante cantidad de sílice hidratada.

4.1.3.2 Puzolanas artificiales.

Se denomina puzolanas artificiales a aquellos subproductos industriales y materiales tratados térmicamente de forma adecuada; contiene SiO_2 y una estructura amorfa, ejemplo: humo de sílice, escorias de alto horno, cenizas volantes provenientes de la combustión de carbones y

arcillas activadas térmicamente. La porción amorfa o vítrea determina las cualidades del material puzolánico.

4.1.4 Propiedades de las puzolanas.

Las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) esté entre el 50 y 70%, es decir, que la puzolana tenga una estructura amorfa. (Suárez & Urgiles, 2010, pág. 10).

Las puzolanas tienen diferentes propiedades físicas y químicas que las hacen óptimas para su desempeño en la industria del cemento (Tabla 5). Es necesario evaluar estas propiedades para encontrar el ensayo efectivo y evaluar la actividad puzolánica del mismo. En la tabla 4 se presentan las características físicas generales que tienen las puzolanas (Suárez & Urgiles, 2010, pág. 10).

Tabla 4: Propiedades Físicas

Ph	7
Punto de fusión	800-900 °C
Punto de inflamación	No inflan
Aspecto físico	Sólido
Forma	Granulado o en Rocas
Colores	Rojizo-Rosado o negro
Olor	Inodora
Solución en agua	Insoluble

Fuente: (Suárez & Urgiles, 2010)
Elaboración: Autora.

Las propiedades químicas se basan en el porcentaje de óxidos del material, el porcentaje de óxidos que debe tener una muestra puzolánica generalmente se muestra a continuación (Tabla 5).

Tabla 5: Propiedades Químicas

Elemento	%Sobre la masa total
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	65%
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	14%
Óxido de Calcio (CaO)	5%
Óxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	4%
Óxido de Potasio (K ₂ O)	3%
Otros óxidos	9%

Fuente: (Suárez & Urgiles, 2010)
Elaboración: Autora.

4.1.5 Actividad puzolánica.

La actividad puzolánica se debe al siguiente principio: “La sílice y la alúmina, como componentes ácidos de los materiales puzolánicos, reaccionan con la cal a condición de que sus uniones en dichos materiales resultan inestables.” (Mella, 2004, pág. 64). Es decir, se transforman fácilmente en otros.

Éste estado de activación del material puzolánico va en dependencia de algunos factores: de la relación intrínseca cal-puzolana en la combinación, de la finura del material puzolánico o también llamado superficie específica, del origen y proporción de las fases activas presentes en la puzolana (composición mineralógica).

La estructura inestable de los compuestos que conforman el material es una de las principales características que da origen a la actividad puzolánica al combinarse con la cal, estos compuestos son aquellos derivados del óxido de silicio (SiO₃), amorfos (vidrio amorfo).

Para determinar la actividad puzolánica se ha tomado como referencia la norma NTE INEN 501 (2011) “HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND, CENIZA VOLANTE O PUZOLANA NATURAL PARA SU USO EN EL HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND, MUESTREO Y ENSAYOS”, en el que consta el ensayo mecánico que se requiere para determinar dicha activación del material, el ensayo se basa en calcular las resistencias a la compresión de un mortero de cemento al cual se añade una proporción determinada de puzolana y se compara con los valores de un mortero patrón.

Cada material con presunta actividad puzolánica es diferente es por eso que analizar las propiedades antes de comenzar el ensayo es fundamental.

4.1.6 Aplicaciones y ventajas.

Existen múltiples usos que pueden darse a la puzolana, algunos ejemplos como: en el paisajismo (sustituto eficaz del césped en zona con carencia de agua de riego), filtro natural (su alta porosidad lo convierte en filtro natural), aislante térmico (material de construcción, sirve como barrera de calor). La principal aplicación se destaca en la fabricación de cemento Puzolánico, se produce a partir de mezclar y moler hasta conseguir un fino polvo una mezcla de hidrato de cal y puzolana, con una proporción promedio de 70% de puzolana y 30% de cal. (Delgado & Negrete, 2012, pág. 52).

Ventajas que adquiere el cemento al combinarse con el material puzolánico, se detallan a continuación (cemento puzolánico).

- Aumento en la resistencia a la compresión.
- Incremento a la resistencia a la abrasión.
- Disminución del calor de hidratación.
- Mejora en la defensa frente al ataque de sulfatos y cloruros.
- Notorio aumento en la durabilidad del cemento.
- Disminución del deterioro del cemento.
- Alta resistencia al agua del mar

Todas estas ventajas del cemento se deben al denominado “Efecto Puzolánico” que se produce al reaccionar los aluminosilicatos presentes en la puzolana con el Hidróxido de Calcio liberado en la hidratación del cemento Pórtland. Lo que sucede al combinarse estos materiales se lo resume a continuación.

- La activación puzolánica consume hidróxido de calcio, haciendo resistentes a las mezclas en ambientes ácidos.
- Debido a su pequeño tamaño de grano las puzolanas rellenan eficientemente los poros muertos dificultando la formación de los espacios capilares que se generan durante la hidratación del cemento.
- Se produce una reacción lenta por la disminución del calor de hidratación, aportando estabilidad, pero retrasando el fraguado.

4.1.7 Puzolanas en el Ecuador

En el Ecuador tenemos dos tipos de vulcanismo muy diferentes, uno en el centro del país, vulcanismo de edades plio-pleistocénicas, constan de estrato-volcanes activos e inactivos, los mismos que se encuentran en la avenida de los volcanes en el callejón internadino, debido a la intensa actividad los yacimientos de puzolanas han sobresalido y su explotación de

puzolanas ha ido en aumento por fábricas de cemento, debido a la cantidad de material y cercanía a dichas empresas se han hecho estudios intensivos de los beneficios que provee tal material, éste vulcanismo es el más joven en el país. El segundo tipo de vulcanismo, es un vulcanismo más antiguo con tobas y zeolitas del Eoceno, se encuentra en la zona austral del país específicamente en la ZTPM (Zona Transversal Puná Mendéz), constan de dos arcos volcánicos: arco volcánico continental Saraguro y el arco volcánico de islas Celica, ésta zona representa el límite entre los Andes Nórdicos y los Andes Centrales, la composición litológica que corresponde a éste segundo tipo de vulcanismo antiguo, constan de tobas riolíticas a dacíticas, tobas líticas de matriz de polvo de ceniza volcánica y tobas silíceas muy alteradas debido a los fluidos hidrotermales típicos de la zona de vulcanismo.

El escenario en cuanto a la composición litológica de éstos dos tipos de vulcanismo es el misma, la diferencia es la edad cronoestratigráfica entre ambos (30 M.a.).

Las tobas que encontramos en la zona austral al sur del Ecuador antiguamente fueron polvo de cenizas volcánicas, piroclastos y pumitas, pero agentes de meteorización, agua subterráneos y fluidos hidrotermales hicieron que este material se altere sin dejar de lado sus propiedades puzolánicas, puede que no cumplan los estándares establecidos en la norma ASTM C 618, (2005), sin embargo los ensayos mecánicos realizados demuestran que la actividad puzolánica está presente en los materiales, definiéndolos como “puzolanas” a dichos materiales. Cabe destacar que estos materiales son poco estudiados, y la explotación artesanal se la ha realizado en menor escala desde hace más de una década por los habitantes de pueblos cercanos a estos recursos puzolánicos, algunos de estos afloran en el cantón Saraguro, con ninguna técnica de explotación, de manera rudimentaria y escasos conocimientos de dicho material, la explotación que se realiza es para la fabricación de bloques artesanales y proveer de los mismos al cantón. Una de las canteras conocidas en el Cantón Saraguro es la cantera “Cañicapa”, las personas que explotan este material puzolánico la denominan “arena”. (Fig. 9).



Figura 9: Cantera “Cañicapa” etapa II

Elaboración y Fuente: Autora

4.2 Hormigón de cemento portland con adiciones (puzolana): Generalidades.

El hormigón es el material de construcción constituido básicamente por rocas de tamaño máximo limitado, que cumplen ciertas condiciones mecánicas, químicas y granulométricas, unida por una pasta aglomerante formada por un conglomerante (cemento) y agua.

Se puede decir que el hormigón es un material universal pues en cualquier país por pequeño que sea, existen áridos y materias primas para fabricar cemento y por tanto, para hacer hormigón (Fernández, 2013). El cemento es aquel componente que forma un 75% a 80% del hormigón, el mismo que representa un alto costo que le ha tocado pagar al medio ambiente, por el excesivo CO₂ que generan las fábricas de las industrias cementantes a la hora de quemar el clinker, una de las alternativas para producir menos daños en el medio ambiente es sustituir el cemento por algún otro aglomerante natural ó adiciones minerales, como las puzolanas, éste aditivo se puede reemplazar con el cemento entre 25 y 40%.

4.2.1 Adiciones minerales.

Las adiciones minerales son compuestos naturales o artificiales que incorporan al cemento o directamente al hormigón con el objeto de mejorar el comportamiento del cemento u hormigón en estado fresco y/o endurecido. (Mindiola, 2011, pág. 23).

Las adiciones minerales utilizadas por las industrias cementantes y hormigón, se las divide en activas e inactivas. (Fig. 10).

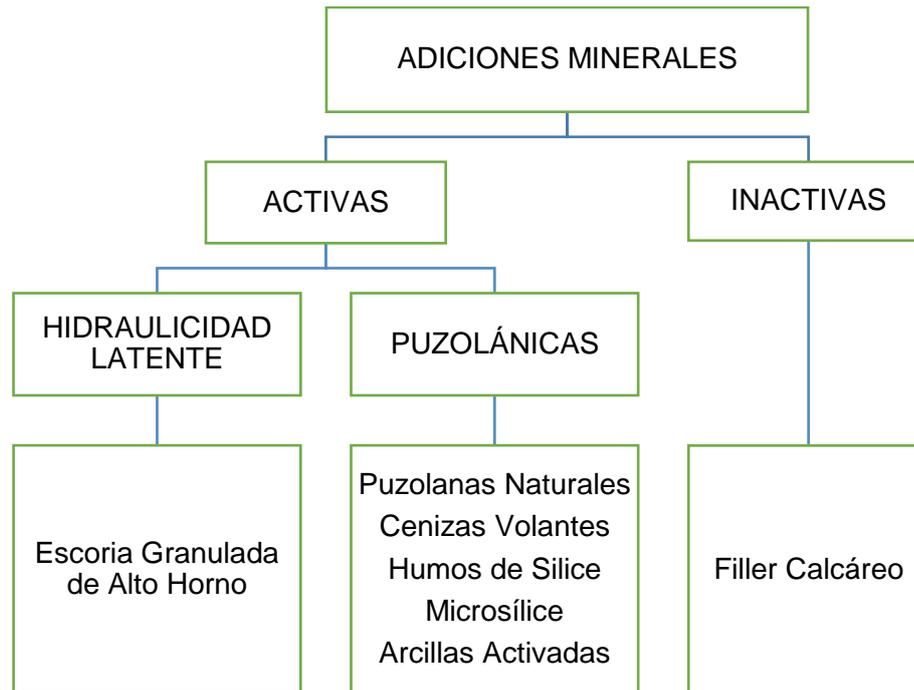


Figura 10: Clasificación de las adiciones minerales
 Fuente: (Mindiola, 2011, pág. 23).
 Elaboración: Autora

Las adiciones activas son aquellas que se hidratan y forman compuestos de Silicato Cálcico Hidratado (SCH) similar a los formados en la hidratación del Clinker portland. Las adiciones activas se dividen en dos subgrupos aquellos que poseen hidraulicidad latente y las puzolánicas (Mindiola, 2011).

Adiciones activas de hidraulicidad latente: éstas adiciones tienen la capacidad de hidratarse por sí mismas en presencia de agua y un agente catalizador.

Adiciones activas puzolánicas; Se hidratan a través de una reacción secundaria (2) donde se combina con el $(OH)_2Ca$ formado durante la hidratación primaria (1), resultando compuestos SCH. (Mindiola, 2011, pág. 23).



Donde SiO_2 lo aporta la puzolana y el $(OH)_2Ca$ es el subproducto generado durante la hidratación primaria. Podrá observarse que durante la hidratación de las puzolanas no hay generación de $(OH)_2Ca$, por lo cual es de esperar que los cementos u hormigones que poseen estas adiciones presenten mayor resistencia final y durabilidad que los elaborados con cementos “puros” ya que el $(OH)_2Ca$ tiene muy baja resistencia estructural. (Mindiola, 2011, pág. 24) (Fig. 11)

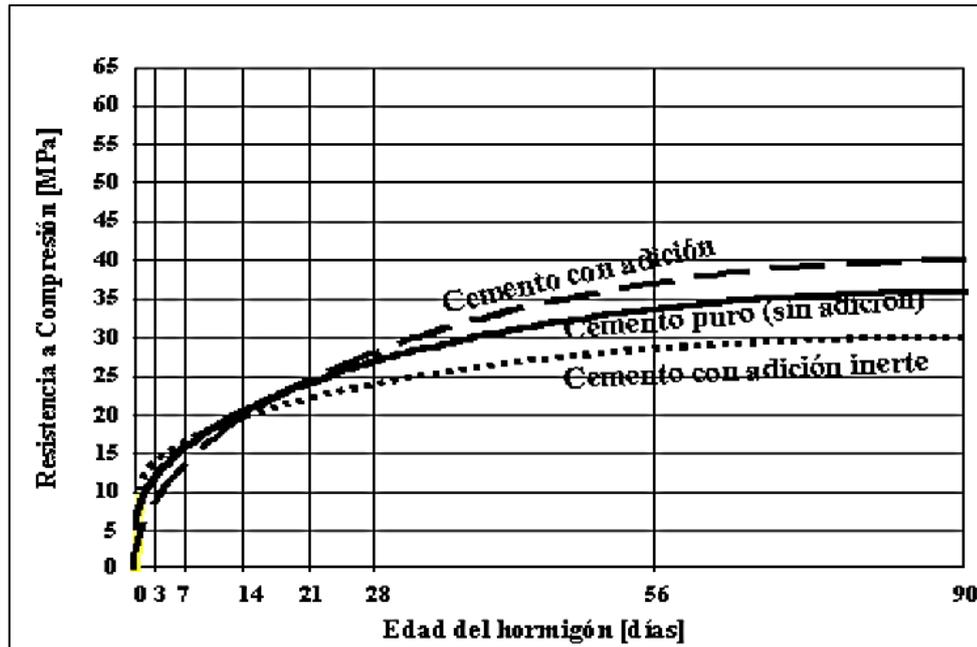


Figura 11: Influencia de las adiciones sobre el desarrollo de resistencia del hormigón.
Fuente: (Mindiola, 2011)
Elaboración: Autora

4.2.2 Ventajas del uso de adiciones minerales en el hormigón.

Las adiciones minerales de alta finura pueden ayudar al mejoramiento de las cualidades del hormigón. Estos pueden ser efectos físicos tal como el incremento de la compacidad, o efectos físico-químicos como los nuevos productos de reacción formados durante la reacción puzolánica, en ambos casos el efecto final es similar, la porosidad del hormigón disminuye y la distribución y tamaño de los poros se hacen más pequeños. El uso de las puzolanas puede modificar las propiedades tecnológicas, mecánicas y la durabilidad del hormigón. (Dopico, et al., 2008, pág. 2)

En hormigones de resistencias normales, las puzolanas son añadidas para reducir los costos y mejorar los valores de resistencia y durabilidad de la masa endurecida. En tales casos, las puzolanas ayudan a mejorar la compacidad de los sólidos, pero el rol primario es proveer silicato cálcico hidratado adicional por medio de la reacción con el agua y con el hidróxido cálcico proveniente de la reacción del cemento portland. Esta reacción puzolánica es pequeña para la mayoría de las puzolanas utilizadas en altas proporciones, así, los beneficios son observados en el plazo de una semana a varias semanas después de mezcladas. Algunas de estas puzolanas altamente reactivas (tales como la sílica fume) son añadidas en pequeñas proporciones y ayudan a mejorar los valores de resistencias a edades tempranas así como también la durabilidad a mayores edades. (Dopico, et al., 2008, pág. 3)

4.2.3 El Aglomerante Cal-Puzolana como adición activa en el hormigón.

Las propiedades del hormigón con grandes volúmenes de sustitución pueden ser mejoradas sustituyendo el cemento por aglomerante cal-puzolana, que con solo puzolanas. La presencia de la cal adicional, reduce el riesgo de auto neutralización, aun para grandes volúmenes de sustitución. La presencia de cal incrementa la concentración de iones Ca^{2+} , con la contribución temprana en la formación de productos de reacción. La presencia de cal conduce al incremento de iones OH, cuya tarea es romper los enlaces silicios en la puzolana, y con ellos acelerar el comienzo de la reacción puzolánica. (Dopico, et all., 2008, pág. 3)

4.2.4 Definición de morteros.

Los morteros son materiales de uso frecuente en el campo de la construcción, son combinaciones homogéneas de cemento agua y arena también los hay con aditivos.

Los diferentes tipos de morteros se los denomina según el aglomerante a utilizar.

- Mortero de arena y cemento
- Mortero de arena y cal
- Mortero de arena, cemento y cal.
- Mortero de arena, cemento que contiene plastificante.
- Mortero con agente de arrastre cal-arena+aire.

CAPITULO V
METODOLOGÍA

La metodología del presente trabajo de investigación se desarrolló de forma experimental describiendo los materiales empleados y procedimientos a seguir que conlleva caracterizar y evaluar el material puzolánico.

El desarrollo del trabajo investigativo se llevo a cabo en cuatro etapas:

- a) Recopilación de información (Mapas, informes, papers, normas y otros trabajos investigativos) del tema investigado que define los lugares estratégicos (trabajo de campo), ensayos (trabajo experimental) y usos que se pueden acondicionar al material puzolánico.
- b) Trabajo de campo (descripción de afloramientos y descripción de muestras).
- c) Trabajo experimental o de laboratorio (ensayos físicos, químicos, mecánicos y análisis mineralógicos).
- d) Trabajo de gabinete (evaluación del recurso inferido) y redacción técnica.

5.1 Recopilación de información.

Se recurrió a varias fuentes escritas: papers, artículos de revista, normas INEN y ASTM, libros, mapas geológicos entre otros trabajos investigativos importantes para el desarrollo del presente trabajo investigativo, fuentes que se describen a continuación.

Se comenzó investigando aspectos básicos acerca del material puzolánico para eso páginas web de organizaciones como (ECOSUR, 2014), (Salazar, 2006), teniendo palabras claves en la fabricación del cemento puzolánico y mencionando importantes estándares de calidad para el desarrollo del mismo.

Para el análisis mineralógico se baso en las técnicas empleadas por (FLORES, 2013) en el trabajo de “CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA Y QUÍMICA DE LAS ARCILLAS DEL SUR DE LA CUENCA MIOCENICA DE LOJA” en los cuales se podría utilizar los métodos preliminares para la eficiente determinación de forma cuantitativa y cualitativa de los minerales que conforman el material puzolánico.

Para evaluar el índice de actividad puzolánica con cemento portland y para clasificarlas se tomo en cuenta el anteproyecto de (Vázquez, 2006) en su trabajo “Caracterización del origen y uso de puzolana localizada en las cercanías de Carapeguá, departamento de Paraguari de la República del Paraguay” menciona los distintos ensayos a aplicar con las respectivas normas.

Para evaluar el comportamiento del material puzolánico como aditivo en el hormigón se toman en cuenta los ensayos hechos por Jaigua Romero & Vázquez Urgilés (2010) siendo muy eficiente este material como aditivo en el hormigón.

Finalmente se consideró un valioso documento para la determinación de las propiedades a través de ensayos experimentales en paneles alivianados este trabajo es de (Manobanda, 2008) en el cual detalla las propiedades del comportamiento puzolánico para la fabricación de hormigones livianos.

5.2 Trabajo de campo. Caracterización geológica.

Consiste en observaciones directas in-situ correspondientes al levantamiento de información geológicas de puntos de afloramientos naturales y en cortes de vías, los mismos que han sido expuestos y documentados en una ficha de campo.

A continuación (Tabla 6) se detalla los puntos y el tipo de afloramiento correspondiente a la cantidad de muestras recolectadas en cada sitio, el número de muestras varía según la composición litológica de cada afloramiento, cantera y su importancia. Un total de 22 puntos muestreados y 25 muestras recolectadas en 4 parroquias distintas del cantón Saraguro.

Tabla 6: Número de muestras por puntos de exploración

Parroquias del Cantón Saraguro	PUNTO DE MUESTREO	NUMERO DE MUESTRAS	TIPO DE AFLORAMIENTO	Observaciones
San Pablo de Tenta	P1	3	Artificial: Cantera	
	P2	1	Artificial: Cantera	
	P4	4	Artificial: Corte de vía	
	P5	0	Artificial: Cantera	Puntos de Referencia
	P6	0	Artificial: Cantera	
	P7	1	Natural	
	P8	2	Artificial: Cantera	
	P9	1	Artificial: Corte de vía	
El Paraíso de Celen	P10	1	Artificial: Cantera	
	P11	0	Artificial: Cantera	Puntos de Referencia
	P12	0	Artificial: Corte de vía	
	P 13	1	Artificial: Cantera	
Saraguro	P14	2	Artificial: Corte de vía	
	P15	1	Artificial: Cantera	
	P16	1	Natural	
	P17	0	Natural	Punto de Referencia
Urdaneta	P18	1	Artificial: Corte de vía	
	P19	1	Artificial: Cantera	
	P20	2	Artificial: corte de vía	
	P21	1	Artificial: Cantera	
	P22	1	Artificial: Cantera	
	P23	1	Artificial: Cantera	

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor

Para el levantamiento geológico se utilizó los siguientes instrumentos: brújula, martillo, lupa, GPS, mapa del sector, libreta de campo y lápices. Además de fundas, cinta para la recolección y etiqueta de las muestras antes de ser trasladadas al laboratorio.

5.3 Trabajo de laboratorio.

Abarca todos aquellos procesos experimentales llevados a cabo en los laboratorios de Geología y Minas (laboratorio de mineralogía y petrografía, y laboratorio de minería y metalurgia) e Ingeniería Civil (suelos y resistencia de materiales) de la UTPL. Los procesos se describen a continuación:

5.3.1 Caracterización del material. Ensayos químicos.

En el siguiente apartado se describen los métodos empleados que se llevó a cabo para el análisis cuantitativo y cualitativo de las propiedades químicas de las muestras.

La preparación de la muestra para la fluorescencia de rayos X y difracción de rayos X, se lo expone en el anexo I.a.

5.3.1.1 Fluorescencia de rayos X (FRX).

La FRX se ejecutó con el equipo BRUKER TURBO S-1 con la modalidad Mining Light Elements, este ensayo analiza cuantitativamente los elementos químicos en óxidos que componen el material muestreado, los resultados son comparados con el porcentaje de óxidos que debe contener los materiales de tipo puzolánico según lo establece la norma ASTM C, el procedimiento se describe en el anexo I.b.

5.3.1.2 Difracción de rayos X (DRX).

La difracción de rayos X analiza de forma cualitativa y cuantitativa los minerales que componen los materiales a ser analizados y el porcentaje de los mismos, según el software a utilizar (TOPAS, EVA), los resultados que se obtienen ratificará los resultados obtenidos en el ensayo de FRX y serán la base para el análisis microscópico de láminas delgadas, la preparación de la muestra es similar a la del ensayo de FRX (Anexo I.c.)

5.3.1.3 Láminas delgadas.

El análisis de láminas delgadas se lo llevo a cabo en los laboratorios de mineralogía y petrografía de la UTPL, el ensayo consiste interpretar microscópicamente la mineralogía de los cristales que componen la roca a ensayar así como sus propiedades cristalográficas, principalmente los minerales claros (silicatos), las características de estos cristales minerales permitirán asignarle un nombre a la roca analizada, la descripción del proceso de fabricación se encuentra descrito en el anexo I.d.

5.3.2 Caracterización del material. Ensayos físicos.

Los ensayos físicos consisten en evaluar las características físicas que presenta el material muestreado. Al material puzolánico se evaluaron propiedades tales como, el tamaño de grano y su distribución, el peso específico, y la proporción de partículas clasificadas como finos y gruesos que contiene el material. Las características físicas evaluadas en el material determinarán el comportamiento y trabajabilidad del mismo a la hora de fabricar el hormigón.

Los ensayos físicos se desarrollaron en base a los tipos de combinaciones realizadas, se diseñó dos tipos de combinaciones, en la primera se reemplazó el material puzolánico por el cemento en porcentajes de 25% y 40% (sustitución puzolana por cemento) actuando como cementante en el hormigón y en la segunda combinación se trató al material puzolánico como árido del hormigón, es decir se sustituyó todo el árido (arena fina) por material puzolánico (sustitución puzolana por arena). Debido a las diferentes funciones que cumplirá el material puzolánico en cada combinación para la fabricación del hormigón los ensayos físicos a realizarse no serán los mismos en ambos casos. A continuación (Fig. 12) se explica los métodos empleados para cada combinación o sustitución.

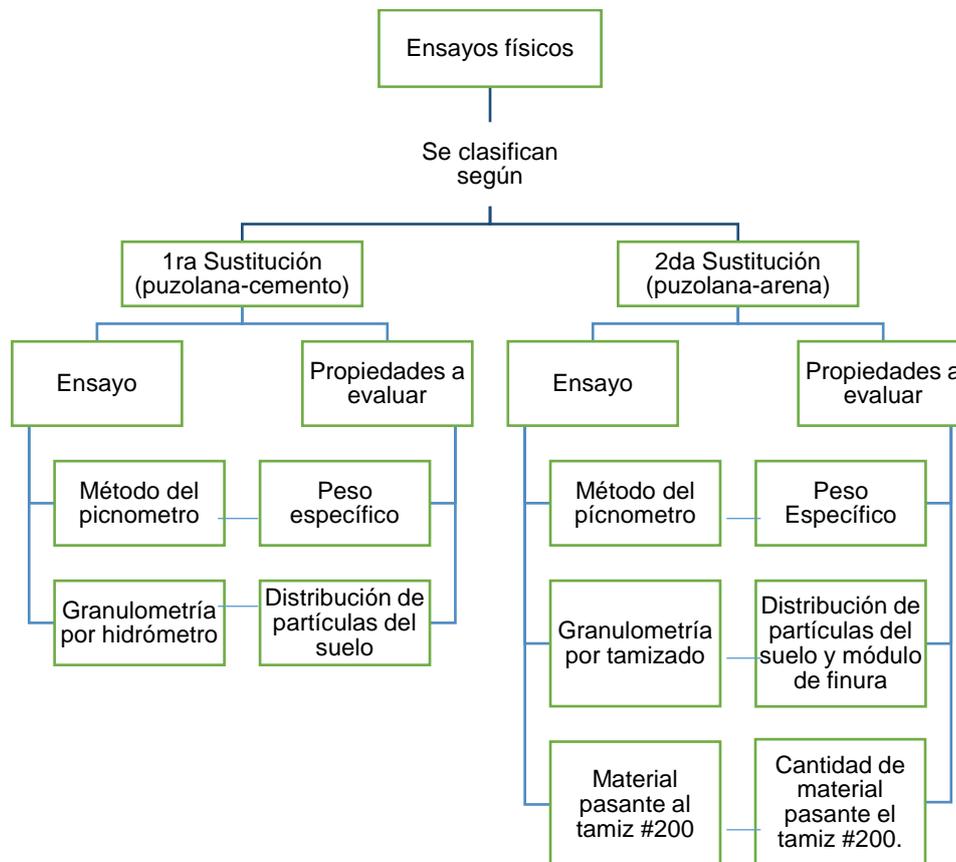


Figura 12: Ensayos físicos según el tipo de sustitución.
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor.

5.3.2.1 Método del picnómetro.

El método del picnómetro se lo empleó para determinar el peso específico del material muestreado. Para el desarrollo de este ensayo se empleó: balanza electrónica, piceta, picnómetro de 5 ml y el material a utilizar, ver procedimiento en anexo I.e.

5.3.2.2 Granulometría por hidrómetro.

La granulometría realizada a través del ensayo del hidrómetro fue aplicado en el material correspondiente a la primera combinación (puzolana por cemento). El método del hidrómetro conocido también como análisis por sedimentación se basa en la sedimentación del material en un medio acuoso (suspensión agua-suelo). Este método determinó el porcentaje de partículas que pasan por la malla #200 (partículas menores a 0,075 mm) y su distribución granulométrica.

El método se basa en la Ley de Stokes (1850) que determina la velocidad de caída de una esfera de diámetro, dentro de un fluido. La velocidad de caída dependerá de la aceleración de la gravedad, de las características de la partícula (diámetro y densidad) y de las características del fluido (densidad, viscosidad). (Meza, 2013, pág. 54).

El desarrollo del ensayo se basó en las normas ASTM C 422 y ASSTHO T 88. Ver procedimiento en anexo I.f.

5.3.2.3 Granulometría por tamizado y Módulo de finura.

El análisis granulométrico por tamizado determina la distribución de los diversos tamaños de partículas de áridos para hormigón, en peso y porcentaje (Meza, 2013). El método consiste en separar las partículas del suelo a analizar a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente, expresada en porcentaje de la masa total. Mediante el análisis granulométrico por tamizado se podrá obtener el módulo de finura, ya que el módulo de finura no es más que el índice aproximado que describe la proporción de finos o gruesos que constituye la masa del material.

El análisis granulométrico se lo realizó bajo los estándares de la Norma NTE INEN 696: 2011. Los equipos a utilizar fueron balanza electrónica, agitador de tamices mecánicos y tamices de serie: #4; #8; #16; #30; #50; #100; #200 y fondo, 600 gramos del árido a utilizar (arena y material puzolánico). Ver procedimiento en anexo I.g.

5.3.2.4 Material más fino que pasa el tamiz #200 por lavado.

Este ensayo determina la cantidad de material que pasa el tamiz No. 200 (75 μ m) mediante el tamizado húmedo del árido (arena y material puzolánico), separando las partículas más grandes de forma eficiente.

El ensayo fue realizado bajo los estándares de la norma NTE INEN 697: 2010. El equipo utilizado consta de: balanza electrónica, tamices No. 16 y 200, Recipiente, Horno. Ver procedimiento anexo I.h

5.3.3 Caracterización del material. Ensayos mecánicos.

Existen varios ensayos mecánicos que se realizan al material para determinar las propiedades mecánicas según sea el caso. En la presente investigación se requiere evaluar la resistencia a la compresión de morteros con diferentes fines.

La resistencia a la compresión de morteros se empleó para determinar el índice de puzolanidad del material de ensayo, como también la evaluación del comportamiento mecánico que tiene la puzolana al combinarse con el hormigón (dos combinaciones, puzolana por arena y puzolana por cemento), según la resistencia que alcance en un determinado periodo de tiempo.

5.3.3.1 Resistencia a la compresión. Índice de actividad puzolánica.

El ensayo de la resistencia a la compresión de morteros evalúa el índice de actividad puzolánica del material, según la NTE INEN 496 (1980) el índice de actividad puzolánica es el valor que expresa la capacidad de la puzolana para reaccionar con el hidróxido de calcio, formando compuestos cementicios. (pág. 1)

El índice de actividad puzolánica se determina por comparación, calculando la resistencia a la compresión de un mortero de cemento con adición de la muestra de ensayo, frente a otro mortero patrón (cemento, arena, agua) (NTE INEN 496, 1980).

Para la fabricación de las probetas es necesario calcular la fluidez de los morteros, el flujo de los morteros estará condicionado por la cantidad de agua que intervenga en las mezclas.

La fabricación de morteros, el ensayo de la resistencia a la compresión de morteros y la determinación del índice de actividad puzolánica se desarrolló bajo los estándares de la NTE INEN 496, NTE INEN1 501, NTE INEN 155 y la NTE INEN2 502. Ver procedimiento anexo I.i.

5.3.3.2 Resistencia a la compresión. Adición puzolánica.

Una vez calculado el índice de puzolanidad del material en cuestión, se procedió a fabricar los morteros de sustitución en dos combinaciones distintas, esto con la finalidad de evaluar los efectos que causa la combinación del material puzolánico en la resistencia de morteros cemento-arena o albañilería según una dosificación dada, para esto se comparó la resistencia que alcanza los morteros de albañilería frente a la resistencia que alcanza los morteros de sustitución en combinaciones distintas, los morteros serán ensayados edades de 14 y 28 días.

El proceso de fabricación de morteros de albañilería y de sustitución será el mismo que se describió para la fabricación de mezcla de control y mezcla de ensayo de morteros de cemento para actividad puzolánica (Anexo I.i), en tanto que la dosificación para el moldeo de morteros, el número de especímenes y la edad a ensayar será diferente. Al final las probetas cilíndricas serán sometidas a cargas calculando su resistencia a la compresión.

5.3.3.2.1 *Dosificación y número de especímenes de morteros de albañilería.*

Se fabricaron morteros de albañilería de cemento-arena según las proporciones de materiales a ser mezclados expuestos en la NTE INEN 488: 2009, con la finalidad de evaluar la resistencia a los 14 y 28 días y compararlos con las resistencias de los morteros de sustitución.

A continuación en la tabla 7 se representa las proporciones de materiales a ser mezclados para tres especímenes de morteros cilíndricos de 10 x 5 cm.

Tabla 7: Proporción de materiales a mezclar

Material	Proporción (gr)
Cemento, gr	500
Arena, gr	1375
Agua, cm ³	242 cm ³

Fuente: NTE INEN 488 (2009)

Elaboración: Autor.

Los morteros se ensayaron en 2 periodos (14-28 días) por ende la mezcla se preparó dos veces obteniendo un total de 6 probetas.

5.3.3.2.2 *Dosificación y número de especímenes para morteros de sustitución.*

La dosificación que se utilizó fue por peso en partes de cemento y arena en base a una determinada resistencia, de aquí parte el diseño experimental basada en dos tipos de combinaciones, primero sustituir puzolana-cal por cemento (25-40%) se adicionó cal debido a que el material es 99,9% siliceo, y la segunda es sustituyendo completamente el árido por puzolana-cal en proporciones 25- 40% de la masa total de la arena, la dosificación que se aplicó es 1:2 una parte de cemento y dos de árido fino para 17 Mpa (Tabla 8).

Tabla 8: Dosificación de morteros en base a las resistencias

	Proporciones en volumen		Usos	f'c (kg/cm ²)
	Cemento	Arena		
Mortero de albañilería cemento-arena, según la dosificación.	1	1	Bruñidos y revoques impermeables	170
	1	2	Enlucidos, revoques de zócalo, corrido de cornisas	
	1	3	Bóvedas tabicadas, enlucidos en pavimento, enfoscados	

Fuente: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola (2017)

Elaboración: Autor.

Los morteros de sustitución no son más que morteros de albañilería (cemento, arena) al que se les sustituye uno de sus componentes de la mezcla por puzolana-cal.

La primera combinación (puzolana-cemento), sustituye en porcentajes de 25% y 40% de cemento por puzolana-cal de la mezcla, al igual que el mortero de albañilería se confecciono 3 probetas por cada edad a ensayar (14, 28 días). Para ésta combinación el material puzolánico debió ser triturado y molido en un molino de bolas de acero alrededor de 30 min. A continuación en la tabla 9 se resume la proporción de material y el número de probetas según la edad a ensayar.

Tabla 9: Proporción de materiales a mezclarse para morteros de sust. (puzolana-cemento).

Morteros de sustitución puzolana-cal por cemento (suelo – cemento)						
Tipo de mortero.	Albañilería		Sustitución 25%		Sustitución 40%	
	%	gr	%	gr	%	gr
Cemento (gr)	100	510	75	382,5	60	306
Puzolana (gr)	----		20	102	30	153
Cal (gr)	-----		5	25,5	10	51
Arena	1020		1020		1020	
Agua	280		260		295	
Edad de rotura	----		14 y 28		14 y 28	
Sectores de muestreo seleccionado	----		5		5	
No. De especímenes a ensayar 3 a 14 días y 3 a 28 días.	----		6		6	
Total de especímenes	-----		30		30	

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

En la segunda combinación (puzolana por arena), la puzolana-cal actúa como árido de la mezcla de ensayo, para ello se redució la muestra homogenizándola; se sustituyó todo el árido de la muestra (arena fina limpia) por puzolana-cal, para el cálculo del porcentaje de puzolana-cal se utilizó la siguiente relación.

$$Puz (gr) = \frac{20 \% \times 1020 \text{ gr de arena}}{25\%}; \quad Cal (gr) = \frac{5 \% \times 1020 \text{ gr de arena}}{25\%}$$

$$Puz (gr) = \frac{30 \% \times 1020 \text{ gr de arena}}{40\%}; \quad Cal (gr) = \frac{10 \% \times 1020 \text{ gr de arena}}{40\%}$$

La relación está hecha para 25% y 40%, porcentajes que asume la arena para determinar las proporciones de puzolana-cal que serán mezcladas para la fabricación del mortero de

sustitución, a continuación en la tabla 10 se resume la proporciones del material y el número de especímenes que tendrá ésta combinación.

Tabla 10: Proporción de materiales a mezclarse para morteros de sust. (puzolana-arena).

Morteros de sustitución puzolana-cal por arena (puzolana-arena)					
Tipo de mortero.	Albañilería	Sustitución 25%		Sustitución 40%	
Cemento (gr)	510 gr	510 gr		510 gr	
Puzolana (gr)	----	20 %	816 gr	30%	765 gr
Cal (gr)	-----	5 %	204 gr	10%	255 gr
Arena	1020 gr	1020 gr = 25%		1020 = 40%	
Agua	280 ml	260 ml		270	
Edad de rotura	----	14 y 28		14 y 28	
Sectores de muestreo seleccionado	----	5		5	
No. de especímenes a ensayar 3 a 14 días y 3 a 28 días.	----	6		6	
Total de especímenes	-----	30		30	

Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Una vez fabricados los morteros de sustitución de ambas combinaciones y terminado el tiempo de fraguado en un intervalo de tiempo establecido, se procedió a ensayarlos en el equipo de compresión (ACCU-TEK), siguiendo el mismo proceso al que fueron sometidos los morteros de actividad puzolánica.

5.3.4 Caracterización del cemento Guapan.

En el sentido más amplio, de la palabra cemento indica un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. (Suárez & Urgiles, 2010, pág. 42)

Para la fabricación de los morteros, a lo largo del proceso se utilizó el cemento Guapan, a continuación en la tabla 11 se presenta las características físico-químicas que presenta el cemento Guapan.

Tabla 11: Características físico-químicas del cemento Guapan.

Características de Calidad del Producto			
NORMA INEN 490			
CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD	MÁXIMO	MÍNIMO	CEMENTOS GUAPÁN
FÍSICAS:			
Superficie específica (cm ² /g)		2800	4110
Tiempo de fraguado inicial. (minutos)		45	184
Tiempo de fraguado final (minutos)	420		230
Expansión en autoclave (%)	0,8		0,05
Edad 3 días (1 Mpa= 10,2 Kg/cm ²)		13	19
Edad 7 días		20	28,74
Edad 28 días		25	39,9
Retenido tamiz 325			3,98
Consistencia normal %			26,4
Falso fraguado %		50	84
Densidad aparente			929
Pesos de sacos (kg)	50,5	49,5	50
QUÍMICAS:			
Trióxido de azufre (%)	4		2,15
Óxido de magnesio (%)	6		1,98
Pérdidas por calcinación (%)	5		1,49

Fuente: Suárez & Urgiles (2010).
Elaboración: Autor

5.3.5 Caracterización de la Cal.

En la fabricación de morteros, se empleó la CAL LATINA de Industrias Latina, las características a continuación descritas son proporcionadas por el fabricante (Tabla 12).

Tabla 12: Características físico químicas de la Cal

Características de Físicas y Químicas de la Cal	
QUÍMICAS	Porcentaje
Óxido de calcio (CaO) - aprovechable	67% - 75%
Hidróxido de calcio (Ca(OH) ₂ - aprovechable	88,5 % - 95%
Óxido de magnesio (MgO)	0,25% - 0,60%
Óxido de hierro (III) (Fe ₂ O ₃)	0,03% - 0,09%
Óxido de silicio (IV) (SiO ₂)	0,05% - 1,20%
FÍSICAS	% max.
Retenido en Malla 200	7%
Humedad	3%

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

5.4 Trabajo de Gabinete. Evaluación del recurso puzolánico inferido.

Una vez terminado el trabajo experimental se determinó el recurso de los sitios que tienen potencial puzolánico. Mediante el ArcMap 10.3 se calculó el volumen del recurso en base a un modelo digital de elevación, en Global Mapper se obtiene la figura en 3D que representa el modelamiento del terreno como resultado final.

La evaluación de recursos como el procesamiento de todos los datos y cálculo de los ensayos e interpretación de resultados se realizó mediante el trabajo de gabinete.

CAPITLO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las puzolanas son un grupo de rocas extenso, que se clasifican en dos subgrupos tenemos las naturales (tobas, polvo de ceniza volcánica, diatomitas, entre otras) y las artificiales (cenizas volantes), pero no basta con que la muestra pertenezca a uno de estos grupos de roca, para denominarla puzolana se deberá tomar en cuenta las características químicas y sobre todo comprobar su índice de puzolanidad. En la naturaleza ocurrirán ciertas excepciones ya que factores como la edad geocronológica, el tipo de volcanismo, el lugar y las condiciones de intemperismo, y meteorización hará que la composición mineralógica y por ende química cambie, sin embargo conserve sus propiedades mecánicas es por eso que la evaluación del índice de puzolanidad determinará si es una puzolana como tal.

6.1 Caracterización geológica del material.

El Arco continental volcánico Saraguro, litoestratigráficamente consta del Grupo Saraguro que se subdivide en la formación Saraguro y formación Loma Blanca, consta de rocas volcánicas de composición calco-alcalina y ácida. Sobre la formación Saraguro sobreyace la formación Tarqui que se deja evidenciar por sus conglomerados tobáceos en algunos afloramientos.

Las tobas dependiendo de su origen y comportamiento mecánico pueden clasificarse como puzolanas. El cantón Saraguro consta de sectores con material tobáceo de alto potencial.

En el Sector de Cañicapa al NE del cantón Saraguro con coordenadas X= 690474, Y= 9606232 (M1) se encuentra la concesión familiar "CAÑICAPA" dónde existen afloramientos artificiales expuestos, la cantera consta de tobas ácidas de composición riolítica de una altura de alrededor de 10 metros, correspondientes a la formación Saraguro. En la parte superior afloran pequeñas capas de conglomerados típicos de la formación Tarqui, las tobas se encuentran altamente erosionadas, las muestras de roca son poca representativas ya que estas se disgregan con facilidad, la matriz del afloramiento es de tipo arenoso, macroscópicamente se encuentra compuesto casi 99% de cuarzo amorfo. (Fig. 13).



Figura 13: Cantera de extracción de material de la concesión "Cañicapa".

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Esta secuencia de tobas se repite en los afloramientos correspondientes a las muestras M2, M3, M6.

En el sector Chacaputo se caracterizó la cantera correspondiente a la concesión que lleva el mismo nombre, esta se encuentra en las coordenadas $X= 686527$ y $Y= 9600423$ (M7), al igual que en Cañicapa, el afloramiento se encuentra de forma masiva altamente erosionado y meteorizado, la matriz es de tipo arenosa, las pocas muestras representativas in-situ denotan que se trata de una roca volcánica de tipo toba, por la abundante cantidad de cuarzo amorfo, se la ha denominado toba silíceo. Esta composición tobácea blanquecina es típica de la formación Saraguro (Fig. 14).



Figura 14: Concesión "CHACAPUTO" (M7)

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

En las coordenadas $X= 686809$; $Y= 9601163$ (M8) en el sector de Zunín se encuentra un afloramiento de tipo cantera de donde extraían material para el mejoramiento de vías, éste afloramiento consta de tobas andesíticas poco meteorizadas, escasamente erosionadas, por

la consistencia masiva del material no se considera apto para la fabricación de morteros, el material volcánico presente correspondiente a la formación Saraguro (Fig. 15).



Figura 15: Cantera abandonada, sector Zunín (M8)
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

Antes de llegar a la parroquia Saraguro, en la parroquia “San Pablo de Tenta” aflora material arcilloso en una secuencia de pequeños afloramientos estos se encuentran altamente meteorizados correspondiente al sector Yucucapa (X= 693914; Y= 9599101), la matriz es limo arcilloso, macroscópicamente se identificaron micas, plagioclasas y cuarzo, el afloramiento corresponde a la formación Saraguro (Fig. 16).



Figura 16: Afloramiento en el sector Yucucapa (M9)
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor

En la vía Saraguro-Carboncillo se encuentra aflorando (X= 699682; Y= 9602788) a lo largo de la carretera material blanquecino, tiene una potencia de 7 m de alto, el material se encuentra altamente meteorizado y de forma moderada erosionado, corresponde a una matriz limo arcillosa, la matriz contiene pequeños fragmentos de rocas angulares, similar a las tobas de lapillí y tobas andesíticas, la matriz se encuentra compuesta de cuarzo amorfo, su

composición silíceo responde a la presencia de brechas ácidas de tipo hidrotermales que rodea el material, el material se disgrega con facilidad siendo imposible extraer una roca representativa del afloramiento, el afloramiento corresponde a la formación Saraguro (Fig. 17).



Figura 17: Afloramiento vía Saraguro-Carboncillo Fuente. Autor.
Elaboración: Autor

Otros afloramientos que presentaron diferentes características a la línea de investigación se los despreció, a continuación, se muestra el mapa con los sitios muestreados (Fig. 18).

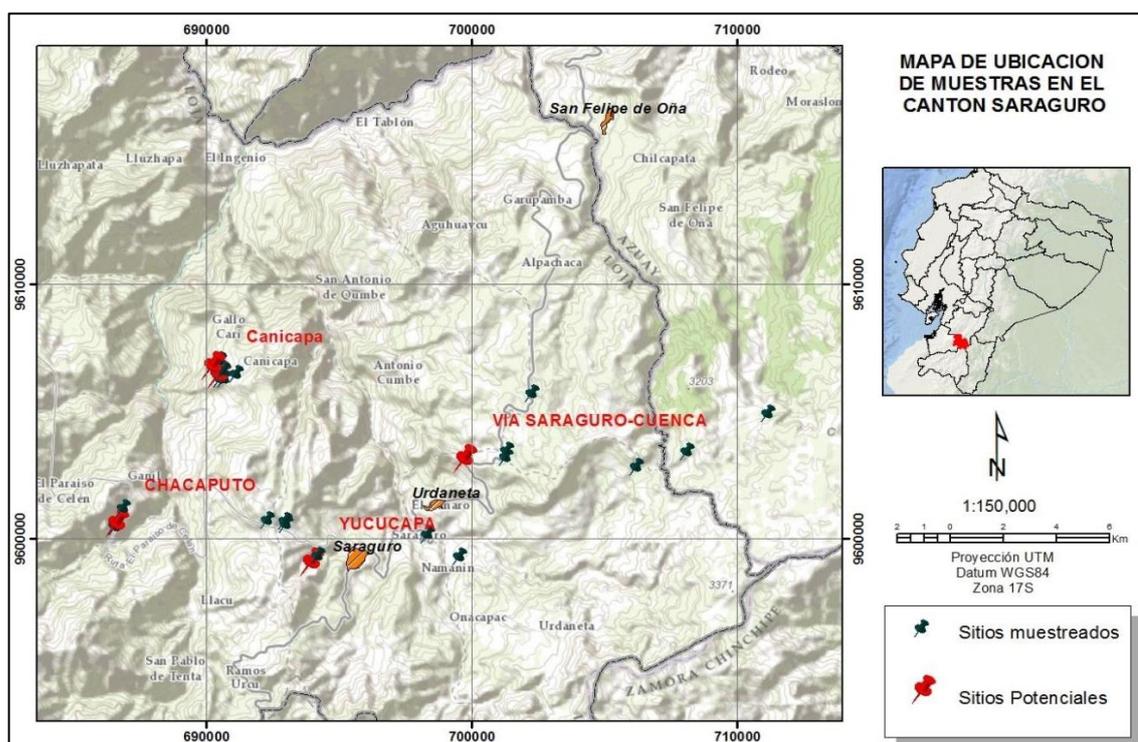


Figura 18 Ubicación de afloramientos y muestreos realizados Fuente: Autor
Elaboración: Autor.

6.2 Caracterización del material. Ensayos químicos.

6.2.1 Fluorescencia de rayos X.

Según la ASTM C618 especifica el porcentaje de óxidos que debe tener el material de tipo puzolánico para clasificarlo bajo sus estándares, para ello se empleó el ensayo de fluorescencia de rayos X para determinar el porcentaje de óxidos del material a ensayar. El ensayo se aplicó a todas las muestras recolectadas en diferentes sectores del cantón Saraguro.

A continuación en la tabla 13 se detalla los resultados de la FRX de las muestras representativas, aclarando que las siglas N/P significa no procesa (no registra).

Tabla 13: Resultados de FRX diferentes sectores muestreados del cantón Saraguro.

FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE LAS MUESTRAS RECOLECTADAS					
SECTOR	COD. DE MUESTRA	FRX			
		SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)
Cañicapa	M-1	97,35	0,01	0,17	0,13
	M-2a	97,5	0,58	0,56	0,19
	M-3a	97,6	N/P	0,2	0,15
	M-4	97,5	N/P	0,25	0,07
	M-6	97,7	0,39	0,33	0,05
Chacaputo	M-7	97,1	N/P	1,14	0,07
Zunín	M-8a	66,6	27,2	2,96	0,16
	M-8b	97,3	N/P	0,32	0,08
Yucucapa	M-9	70,8	22,4	2,93	1,75
	M-10	72,9	18,2	2,29	3,32
	M-11a	69,7	24,7	2,3	0,54
	M-11b	72,7	18,6	2,19	3
Carboncillo	M-14	68,2	23,7	2,36	3,5

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

El requerimiento químico que establece la ASTM C 618 para clasificar un material como puzolánico especifica que debe tener entre un 70 y 50% de óxido de sílice (SiO_3) más óxido de aluminio (Al_2O_3) y más óxido de hierro (Fe_2O_3).

Las muestras correspondientes a Cañicapa y Chacaputo sobrepasa el límite establecido por la ASTM C 618, en algunas muestras correspondientes a estos dos sectores no presenta óxido de aluminio (alúmina) y en otros casos no es representativo, es claro que el material no cumple los estándares químicos sin embargo hay que tomar en cuenta la edad geocronológica a la que corresponde el material, el intemperismo y los procesos externos al que ha sido expuesto además de la influencia que tuvo actividad volcánica y los fluidos hidrotermales sobre el material, por la cantidad de sílice de las muestras se presume que los fluidos hidrotermales alteraron el material haciendo que se presente completamente silíceo; el hecho que no cumpla los estándares químicos no quiere decir que no conserve sus propiedades mecánicas que determinará si es o no una puzolana.

Por otra parte las muestras correspondientes a Yucucapa y Carboncillo presentan una cantidad representativa de óxido de aluminio denotando la presencia de arcilla sin embargo el porcentaje que representa de óxido de sílice es muy alto, sumando el porcentaje de éstos dos más el óxido de hierro sobrepasan el límite establecido en los estándares de la ATM 618, el cálculo de la actividad puzolánica determinará si es o no una puzolana.

Los valores que representan las muestras del sector Zunín también sobrepasa los límites expuestos en la norma, sin embargo no se los tomó en cuenta para la evolución de sus propiedades mecánicas ya que las condiciones que presenta el afloramiento no son las favorables.

Según el análisis de la fluorescencia y la observación directa en campo se determinó que para los ensayos posteriores los lugares con potencial son las muestras M1 (Cañicapa), M6 (Cañicapa), M7 (Chacaputo), M9 (Yucucapa), M14 (Carboncillo), las mismas que serán sometidas al análisis de resistencia de la compresión de morteros.

6.2.2 Difracción de rayos X.

El ensayo de difracción de rayos X, es un método químico cualitativo, que determina la composición mineralógica del material a través del análisis de un difractograma resultante de la muestra analizada.

El resultado obtenido del difractograma para M1 correspondiente al sector Cañicapa contrasta con los resultados obtenidos en la FRX, el alto contenido en SiO_2 corresponde al porcentaje de cuarzo amorfo que compone el material, tal como lo muestra la figura 19.

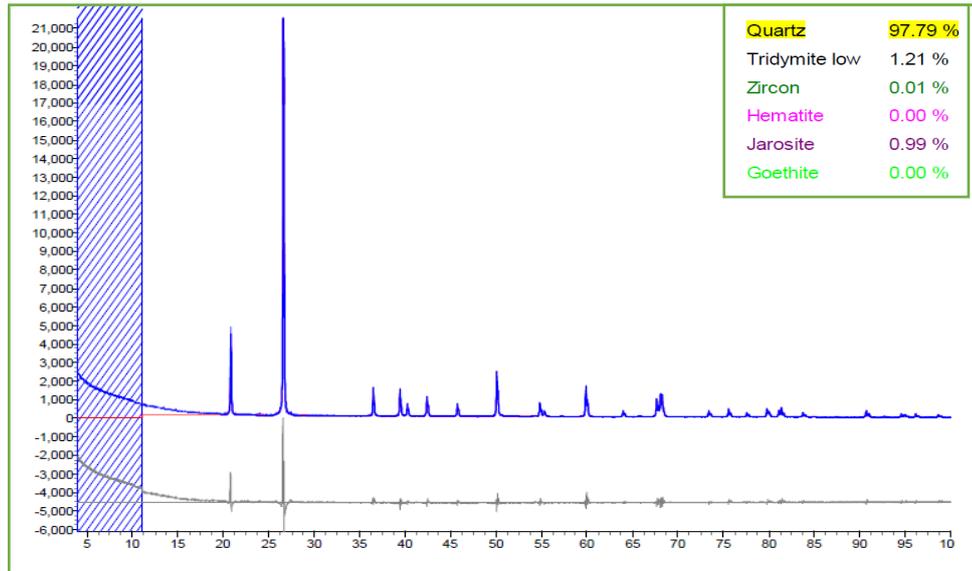


Figura 19: Difractograma de la muestra 1 (M1), sector Cañicapa
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

La muestra 6 corresponde también al sector Cañicapa, con la particularidad que el afloramiento correspondiente a la muestra antes señalada pertenece a una cota mucho más baja en comparación a la muestra 1, es por eso que se las analizo por separado en caso que su mineralogía o composición química cambie debido a la diferencia de cota, además el afloramiento es altamente potencial en cuanto a su volumen. Al igual que el difractograma correspondiente a M1, los resultados contrastan con los de FRX teniendo al cuarzo como su componente casi totalitario de la muestra (Fig. 20).

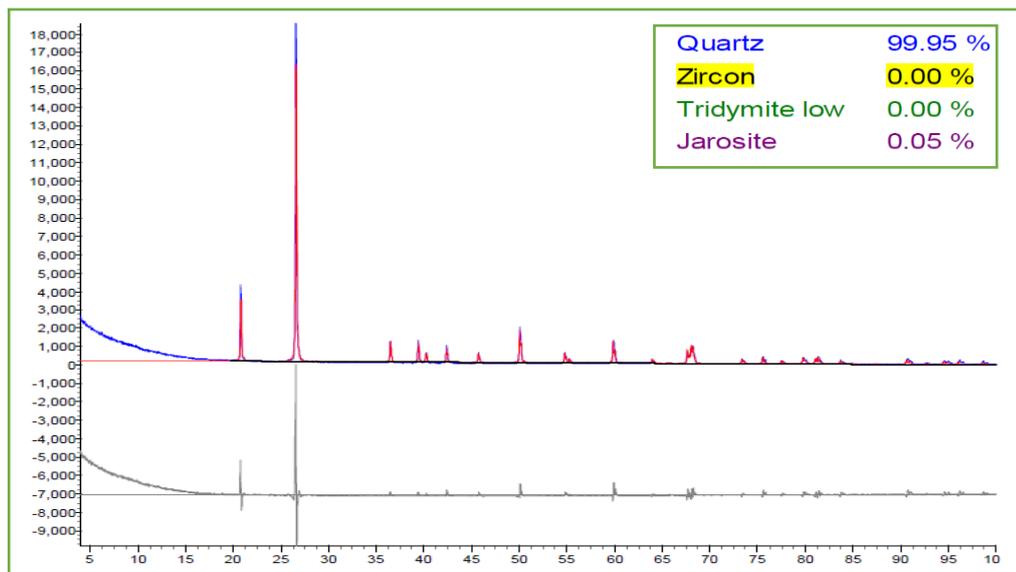


Figura 20: Difractograma de la muestra 6 (M6), sector Saraguro.
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor

La muestra 7 (M7) correspondiente al sector Chacaputo, los valores obtenidos en el difractograma son similares a los difractogramas anteriores, en este caso el cuarzo representa el 100%, es decir la muestra está compuesta totalmente de cuarzo (Fig. 21)

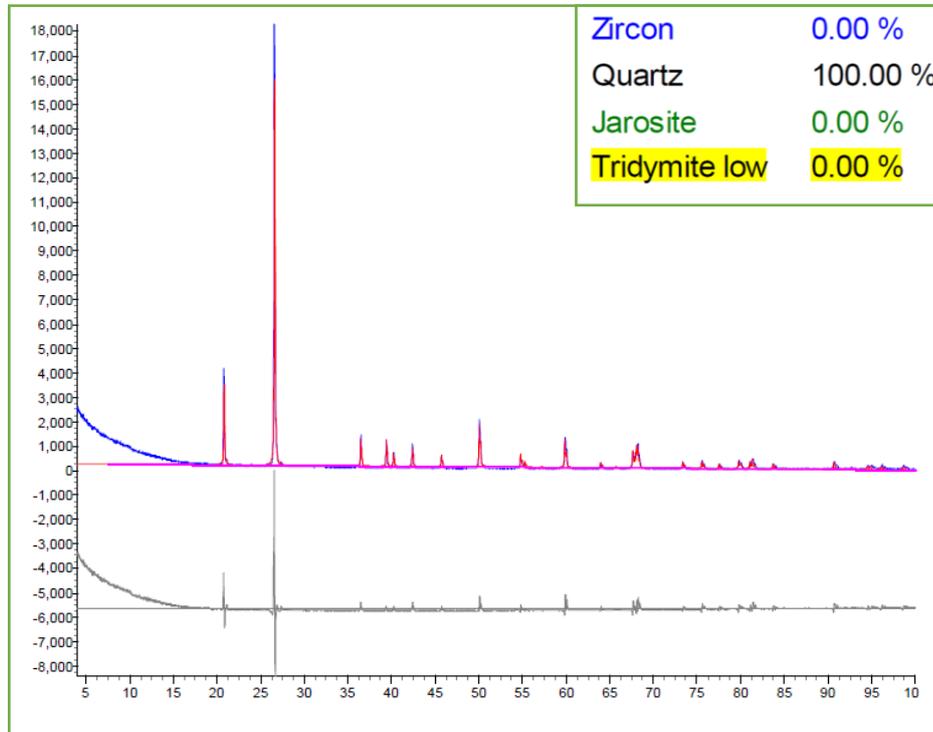


Figura 21: Difractograma de la muestra 7 (M7), sector Chacaputo.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor

El común denominador de estos tres difractogramas (Fig. 31, 32 y 33) es la cantidad de cuarzo en cada una de ellas, en las tres muestras el cuarzo es el componente total de la muestra. Es probable que algún factor externo influyó en la composición ácida de la roca, por la cantidad de cuarzo y sílice y por las características físicas que presenta las rocas que componen los afloramiento, a la roca se la ha denominado toba silicea.

El difractograma de la muestra 9 (M9) correspondiente al sector Yucucapa muestra una diferencia notoria en la variedad y cantidad de minerales que la componen en relación a los difractogramas, a más de la sílice en forma de cuarzo, la presencia de arcilla justifica el contenido de alumina encontrada en la FRX, además de otros minerales (Fig. 22).

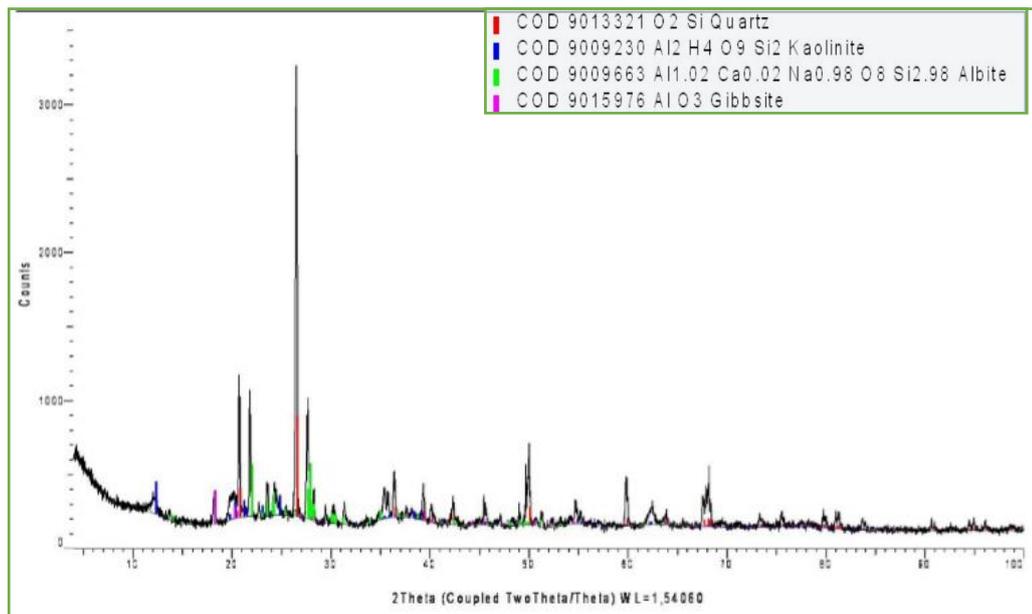


Figura 22: Difractograma de la muestra 9 (M9), sector Yucucapa.

Elaboración: Autor.

Fuente: Autor

El último difractograma en analizar es la muestra 14 (M14) correspondiente al sector Carboncillo, el difractograma presenta una variedad de minerales, entre los que destaca la dickita como alumina, el cuarzo como silice y la andesina como plagioclasa (fig. 23). La andesita es uno de los constituyentes principales los valores porcentuales de andesina y albita son similares a los de la ceniza volcánica del Tungurahua según Suárez & Urgiles (2010). Los minerales andesina y albita son tectosilicato, que muestran estructuras fuertes, muy estables debido al ordenamiento de los tetraedros que los constituyen, estos se forman a temperaturas muy elevadas (Suárez & Urgiles, 2010, pág. 27). Por el contenido mineralógico in-situ y microscópico se define al material como toba lítica de lapillí.

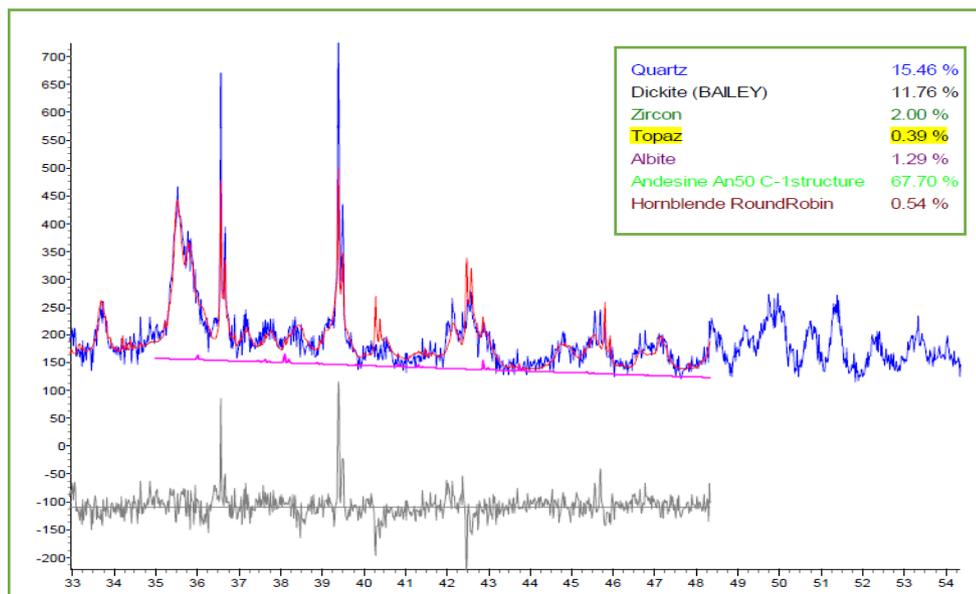


Figura 23: Difractograma correspondiente a la muestra 14 (M14), sector Carboncillo.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

6.2.3 Mineralogía de lámina delgada.

El análisis de láminas delgadas muestra la disposición de los cristales de minerales de la muestra, corroborando con la información previa que se obtiene de la FRX y DRX, determinando microscópicamente la distribución de los minerales y calculando un aproximado porcentual mineralógico que compone la roca, en base a estos porcentajes se define el tipo de roca a la que pertenece la composición dada en la lámina delgada.

La elaboración de la lámina delgada sólo se aplicó a rocas representativas, sectores como Chacaputo (M7) y Carboncillo (M14) no fue posible tomar una muestra de roca para este análisis debido a la alta meteorización y erosión que presentaban los afloramientos.

Según la FRX y DRX la composición mineralógica de las muestras de rocas recolectadas en Cañicapa es la misma sin embargo por el estado que presentan los afloramientos y por la similitud de su composición solo se tomó una muestra de roca que representara para analizarla mineralógicamente. Los porcentajes obtenidos en la lámina delgada son, cuarzo 95-98%, hematita 1-2% y zircón 1-2%, cabe recalcar que estos mismos resultados fueron contrastados con la FRX y DRX. En las fotografías tomadas con el microscopio Olympus BHSM 202443 se aprecia el crecimiento de cristales de cuarzo cerca de las oquedades de la muestra (Fig. 24), dando como resultado una roca de toba silicea.

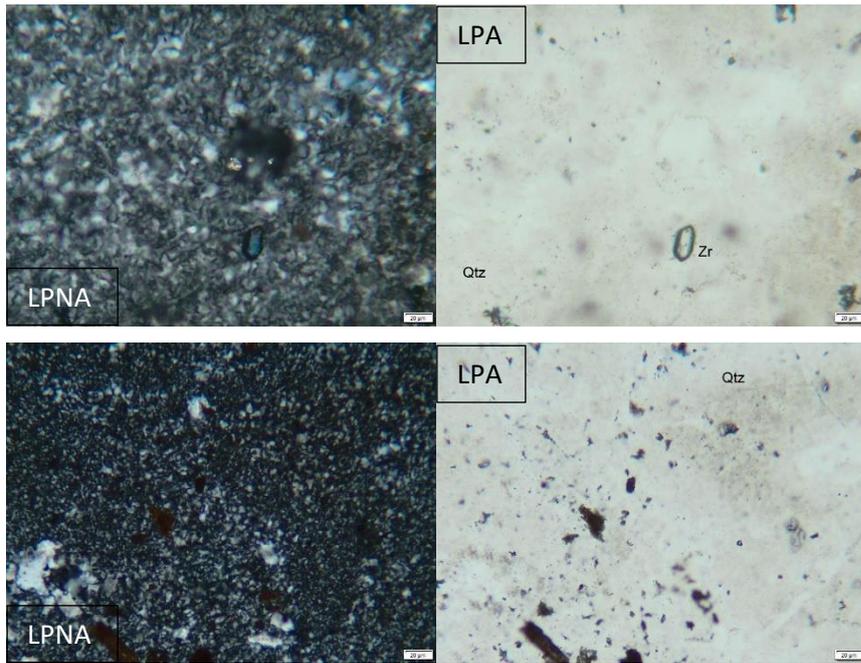


Figura 24: Análisis de lámina delgada, sector Cañicapa.
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor

El análisis de la lámina delgada de la muestra tomada del sector Yucucapa precisa valores de feldespato alcalino 20-25%, cuarzo 40-45%, plagioclasa 25-30% y biotita 5-10%, a continuación se muestra imágenes microscópicas de los minerales escrito (Fig. 25), dando como resultado una roca dacita.

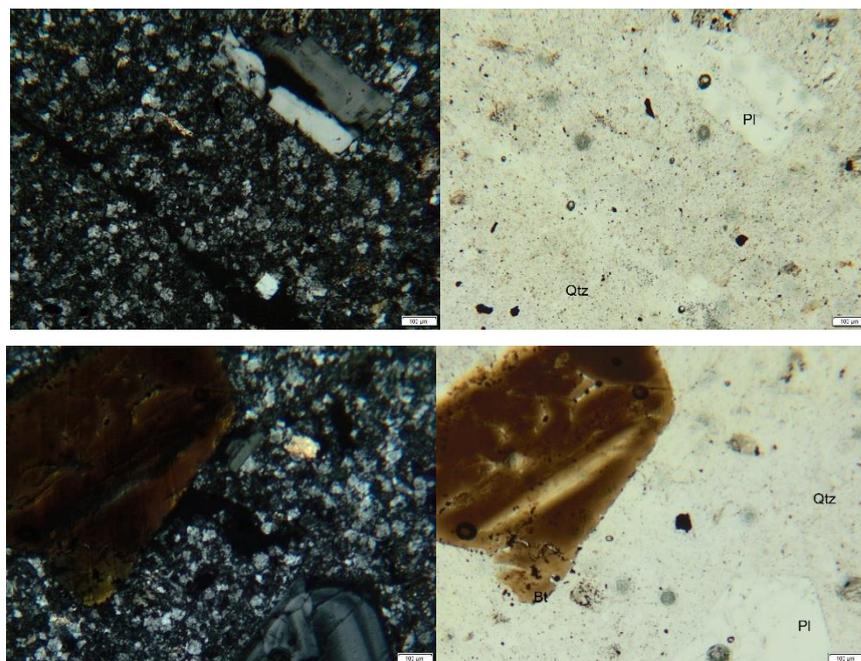


Figura 25: Análisis de lámina delgada, sector Yucucapa,
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor.

6.3 Caracterización del material. Ensayos físicos.

6.3.1 Peso específico.

El peso específico se determinó mediante el método del pícnometro, el resultado final fué el promedio del triplicado del ensayo por muestra. El peso específico del material puzolánico generalmente oscila entre 2,44 – 2,96 gr/cm³. A continuación en la tabla 14 se resume el resultado del peso específico del material presuntamente puzolánico y del árido fino a utilizar para los posteriores ensayos.

Tabla 14: Resultados del peso específico del material a estudiar

Peso específico del material γ (g/cm ³)				
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio γ
Cañicapa M1	2,55	2,80	2,64	2,66
Cañicapa M6	2,68	2,56	2,69	2,64
Chacaputo M7	2,66	2,54	2,68	2,62
Yucucapa M9	2,46	2,42	2,62	2,5
Carboncillo M14	2,45	2,73	2,44	2,54
Arena fina	2,83	2,57	2,54	2,60

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor

6.3.2 Granulometría por método del hidrómetro.

Método del hidrómetro o método por sedimentación, es aquel que determina la distribución de partículas que pasan el tamiz #200 de forma porcentual (Tabla 15).

Tabla 15: Resultados de la granulometría por método del hidrómetro

	%Arcilla	%Limo	%Arena	Total
Cañicapa M1	4,9	46,95	48,15	100%
Cañicapa M6	3	47	50	100%
Chacaputo M7	15	37,64	47,36	100%
Yucucapa M9	15,5	58,32	26,18	100%
Carboncillo M14	12,5	46,2	41,3	100%

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Las muestras que fueron sometidas a la granulometría por hidrometro son necesarios, ya que mientras más fino es el material los resultados son más representativas, (1ra combinación puzolana-cemento).

Con respecto a la arcilla el porcentaje encontrado en las muestras se asemejan a los resultados de alumina apreciados en la FRX.

Debido a la cantidad baja de partículas finas, el material que fue utilizado para la primera combinación fue sometido a molienda en intervalos de 30min, tal como lo hace las grandes industrias con la finalidad de mejorar la capacidad del material al ser combinado con los materiales del hormigón.

6.3.3 Granulometría por tamizado y módulo de finura.

Se aplicó este ensayo a la arena fina y a las mismas muestras a las que se les realizó granulometría por el método del hidrómetro (M1, M6, M7, M9, M14), este análisis determinará la distribución de las partículas y el porcentaje que se retiene y pasa las malla estandarizadas según la NTE INEN 696, con los resultados que se obtenga se clasificará el árido según el módulo de finura.

El conocimiento del resultado de este ensayo es importante para la segunda combinación (puzolana-arena) ya que en este caso el material será el que reemplaze a la arena, siendo el material el que actúe como árido fino y se combine con el cemento.

En el anexo III.e se exponen resultados del análisis granulométrico por tamices.

La COGUANOR.(2010), establece los rangos para clasificar el árido fino según su módulo de finura, estos rangos se describen a continuación (Tabla 16).

Tabla 16: Clasificación del árido ed acuerdo al módulo de finura

Tipo de arena	Módulo de Finura MF (gr)
Gruesa	2,9 a 3,2 g
Media	2,2 a 2,9 g
Fina	1,5 a 2,2 g
Muy fina	1,5 g

Fuente: (COGUANOR., 2010)
Elaboración: Autor.

En base a la tabla descrita anteriormente se procedió a clasificar el material que actuará como árido (arena) para el trabajo experimental en la segunda combinación (puzolana-arena) para la fabricación de morteros, a continuación en la tabla 17 se resume el resultado del módulo de finura.

Tabla 17: Modulos de finura de las muestras de campo y arena de Malacatos.

Muestra	Modulo de finura (%)	Clasificación
Arena, Malacatos	2,90	Media
Cañicapa-M1	2,90	Media
Cañicapa-M6	3,00	Gruesa
Chacaputo-M7	3,20	Gruesa
Yucucapa-M9	2,89	Media
Carboncillo-M14	3,19	Gruesa

Fuente: Autor
Elaboración: Autor

6.3.4 Material pasante el tamiz #200 por lavado.

El porcentaje que pasa el tamiz #200 por lavado se lo determinó de forma porcentual, es decir se determinó que porcentaje de partículas pasa el tamiz #200, a continuación se resume los resultados obtenidos de este ensayo (Tabla 18).

Tabla 18: Porcentaje más fino que pasa el tamiz #200

Muestra	Porcentaje pasante
Cañicapa-M1	25,35%
Cañicapa-M6	25%
Chacaputo-M7	16,53%
Yucucapa-M9	28,40 %
Carboncillo-M14	17,45%

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

Como se puede apreciar en la tabla anterior la muestra correspondiente a Yucucapa-M9 es la que representa el porcentaje más alto de material pasante por la malla #200, contrastando con el porcentaje de arcilla encontrado en el análisis granulométrico por hidrómetro, además Chacaputo-M7 fue la muestra en la que las partículas son mayores a la malla #200 por ende el porcentaje pasante es menor que las demás, por observación directa en el campo Chacaputo-M7 presentaba menos cantidad de finos que Cañicapa pese a que son el mismo material y tienen la misma composición mineralógica.

6.4 Caracterización del material. Ensayos mecánicos.

Se realizó el ensayo de la resistencia a la compresión de morteros con dos fines distintos, para evaluar el índice de puzolanidad según la dosificación establecida de la NTE INEN1 501, y la efecto de la resistencia a la compresión combinando material puzolánico con cemento

portland en la fabricación de morteros. Para los dos fines se llevo a cabo el mismo procedimiento establecido en la norma NTE INEN 155, NTE INEN 502, NTE INEN 488.

6.4.1 Índice de puzolanidad.

Las pruebas químicas preliminares realizadas en los cinco sectores de Saraguro, sobrepasa el límite de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ establecido en la ASTM C 618 que es entre 70-50%, porcentaje usado para la clasificación de un material como puzolana, basados en que la composición de un material puede variar de un lugar a otro, la composición establecida en la ASTM C 618 no puede ser universal, y más aún si se explora el pasado volcano-tectónico que ha sufrido el Ecuador, es por eso que se evaluó el índice de actividad puzolánica mediante la comparación del resultado de la resistencia a la compresión de un mortero de control frente a uno de ensayo, la edad de rotura de estos morteros fue a los 7 días, la edad mínima establecida por la norma NTE INEN1 501, los resultados se obtiene en porcentaje, a continuación en la tabla 19 se detalla el porcentaje de actividad puzolanica que tiene el material de cada lugar a ensayar, las siglas ME significa muestra de ensayo y MP, muestra patrón.

Tabla 19: Resultados del índice de puzolanidad.

	M. ensayo/ M. patrón.	Mortero 1	Mortero 2	Mortero 3	Promedio	Indice de puzolanidad (%)
Cañicapa M1	ME	17,17	24,47	26,79	25,63	121,76
	MP	20,70	21,85	20,61	21,05	
Cañicapa, M6	ME	25,88	27,50	27,82	27,06	128,56
	MP	20,70	21,85	20,61	21,05	
Chacaputo, M7	ME	22,08	26,59	26,61	25,09	119,21
	MP	20,70	21,85	20,61	21,05	
Yucucapa, M9	ME	21,63	20,40	21,68	21,24	100,88
	MP	20,70	21,85	20,61	21,05	
Carboncillo, M14	ME	25,22	25,90	24,79	25,30	120,18
	MP	20,70	21,85	20,61	21,05	

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor

Los morteros que contienen material puzolánico generalmente tarda más en fraguar, es decir el tiempo es más largo para alcanzar su resistencia máxima en comparación que los morteros de albañilería que a los 14 días puede alcanzar un 80% de su resistencia maxima, sin embargo pese a que la edad de rotura del ensayo fue prematuro los resultados son favorables. Pese a que no cumple los requerimientos químicos, estas tobas silíceas presentan favorables

propiedades mecánicas. Con los resultados obtenidos en este ensayo el material puede ser definido como material puzolánico.

6.4.2 Efecto puzolánico en la resistencia a la compresión de morteros mediante diferentes sustituciones.

Para evaluar el efecto que tiene la puzolana en el hormigón se hizo un ensayo comparativo entre una clase de morteros patrón y los morteros de sustitución. Para la fabricación del mortero patrón o mortero de albañilería se utilizó la dosificación que establece la norma NTE INEN 488 para morteros de albañilería en Ecuador, y para la fabricación de morteros por sustitución, se hizo una una relación de cemento-arena 1:2 para una resistencia de 17Mpa en 28 días. No se aplicó la misma dosificación para el mortero de albañilería, debido a que los valores se encuentran establecidos y definidos en la norma antes mencionada. Se realizó dos tipos de sustituciones puzolana-cemento y cemento-cemento.

6.4.2.1 Morteros de sustitución (puzolana-cemento).

Para la fabricación de morteros de sustitución (puzolana-cemento) se sustituyó el cemento por puzolana-cal, ambos experimentos se realizó adicionándole cal debido a que las muestras son altamente silíceas y el porcentaje de CaO es muy bajo o nulo en otros casos, para la fabricación de este tipo de morteros se realizó dos tipos de sustituciones al 25% y al 40% del cemento del hormigón.

A continuación en la tabla 20 se resume los resultados de la resistencia a la compresión del material al ensayarlo a los 14 días al 25-40% de sustitución del cemento por puzolana-cal.

Tabla 20: Resultados de la resistencia a la compresión de morteros ensayados a los 14 días.

RESISTENCIAS COMPARATIVAS A LOS 14 DÍAS, SUST. PUZOLANA-CEMENTO					
	Cañicapa M1	Cañicapa M6	Chacaputo M7	Yucucapa M9	Carboncillo M14
Resistencias a la sustitución 25% (Mpa)	19,3	19,52	19,68	16,1	18,27
Res. de mort. cemento portland (Mpa)	22,31	22,31	22,31	22,31	22,31
Resistencias a la sustitución 40% (Mpa)	13,4	14,3	15,98	8,56	9,74

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

A continuación se presenta una gráfica comparativa de los resultados obtenidos a los 14 días de ensayo de la sustitución puzolana-cemento al 25-40%, (Fig. 26).

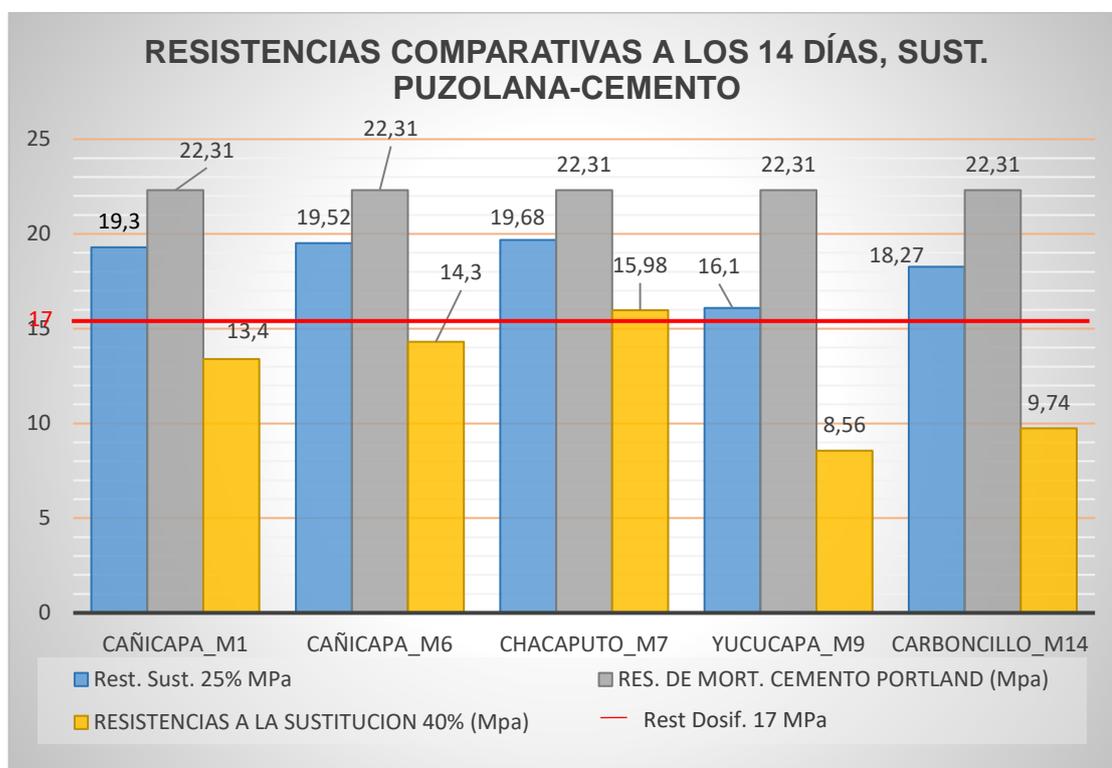


Figura 26: Resistencias comparativas a los 14 días de ensayo.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

A esta edad de ensayo en la sustitución 25% de puzolana-cal por cemento en la mayoría de las muestras excepto Yucucapa ya ha sobrepasado el objetivo planteado para la dosificación 1:2 a 17 Mpa, pero aún no mejora su resistencia frente a los resultados obtenidos de resistencia a la compresión del mortero de cemento o albañilería, esto se debe por el lento fraguado del material puzolánico.

Los morteros de sustitución al 40% aún no llegan al límite establecido para la dosificación y menos aún mejora su resistencia frente al los morteros de albañilería.

En la tabla 21 se muestra los resultados obtenidos a los 28 días del ensayo de la resistencia a la compresión en combinaciones 25-40%.

Tabla 21: Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días al 25-40% de sustitución.

RESISTENCIAS COMPARATIVAS A LOS 28 DÍAS, SUST. PUZOLANA-CEMENTO					
	Cañicapa M1	Cañicapa M6	Chacaputo M7	Yucucapa M9	Carboncillo M14
Resistencias a la sustitución 25% (Mpa)	24,1	26,9	25,98	17,69	26,5
Res. De mort. Cemento portland (Mpa)	23,72	23,72	23,72	23,72	23,72
Resistencias a la sustitución 40% (mpa)	21,7	20,7	18,44	13,49	18,7

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

A continuación de forma gráfica (Fig. 27) se representan los valores comparativos de la tabla 24 según sus resistencias.

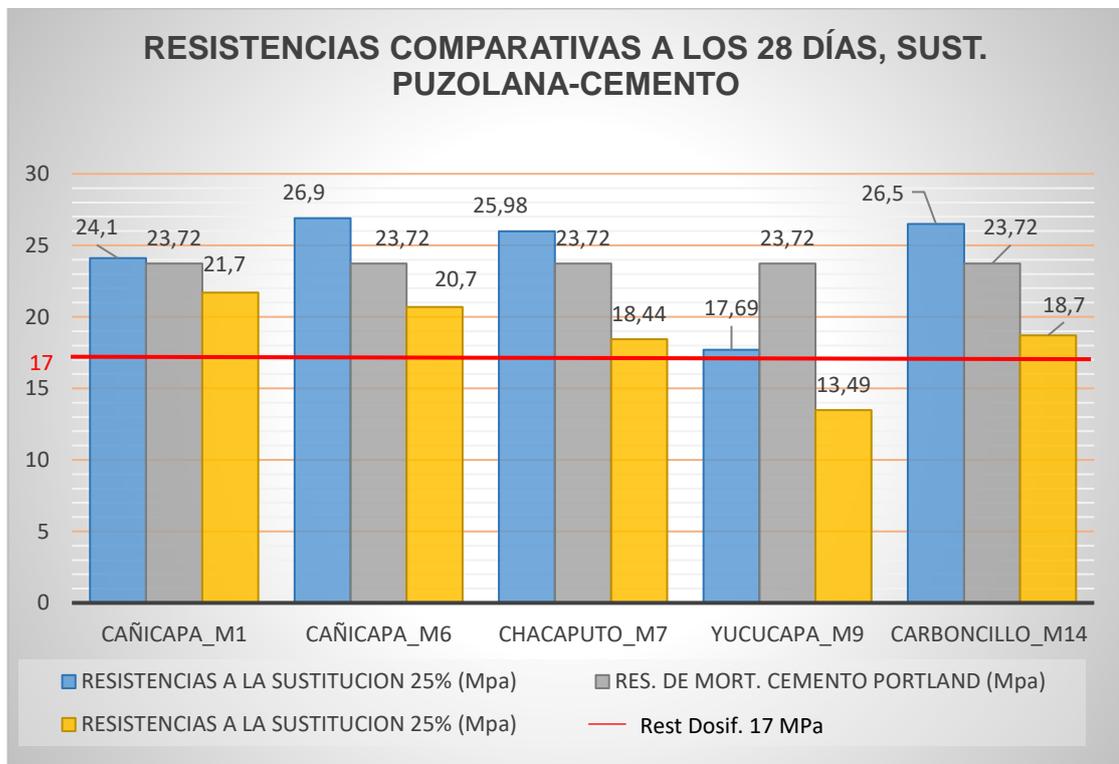


Figura 27: Resistencias comparativas a los 28 días.

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

Es notorio el mejoramiento de la resistencia a la compresión a los 28 días en la sustitución del 25%, como referencia el sector de Cañicapa_M6 tiene el valor más alto de resistencia,

sobrepasando el límite de 17 Mpa y mejorando satisfactoriamente la resistencia frente a los morteros de albañilería, sin embargo Yucucapa_M9 mejoró la resistencia sobrepasando el límite establecido en la dosificación pero no frente a la resistencia del mortero de albañilería. Cabe destacar que el mortero de albañilería también subió su resistencia pero en menor magnitud en comparación con los morteros de sustitución, en la que la resistencia tuvo un mejoramiento satisfactorio. Por otra parte los morteros de sustitución del 40% apenas lograron sobrepasar la resistencia establecida en la dosificación, y menos aún sus valores mejoran frente a los resultados de los morteros albañilería.

El material puzolánico aporta un significativo cambio en la resistencia a la compresión, mejorando su calidad frente a morteros de albañilería en una sustitución 25%, al 40% el material va a tender sólo con el transcurso del tiempo, ya que a más material más tarde su tiempo de fraguado.

6.4.2.2 Morteros de sustitución (puzolana por arena).

En esta combinación se sustituyó todo el árido fino de la mezcla para hormigón con puzolana-cal, se adiciono cal debido a que el material es altamente siliceo y la cantidad de CaO es insignificante en las muestras de estudio.

La dosificación de la puzolana-cal, sigue la misma línea de sustitución puzolana-cemento pero en este caso la masa total de la arena se la tomo como si equivaliera 25% para dividirla en fracciones 20-5% así mismo con el 40%.

A continuación en la tabla 22 se exponen los resultados obtenidos al ensayarlos a los 14 días.

Tabla 22: Resultados de la resistencia a la compresión de morteros

RESISTENCIAS COMPARATIVAS A LOS 28 DÍAS, SUST. PUZOLANA POR ARENA					
	Cañicapa M1	Cañicapa M6	Chacaputo M7	Yucucapa M9	Carboncillo M14
Resistencias a la sustitucion 25% (mpa)	28,25	25,22	33,96	17,39	28,31
Res. de mort. cemento portland (mpa)	23,72	23,72	23,72	23,72	23,72
Resistencias a la sustitucion 40% (mpa)	27,5	26,88	31,62	17,64	28,08

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor

A continuación se representa los datos obtenidos mediante un análisis gráfico comparativo del resultado de la resistencia a la compresión a los 14 días (Fig. 28).

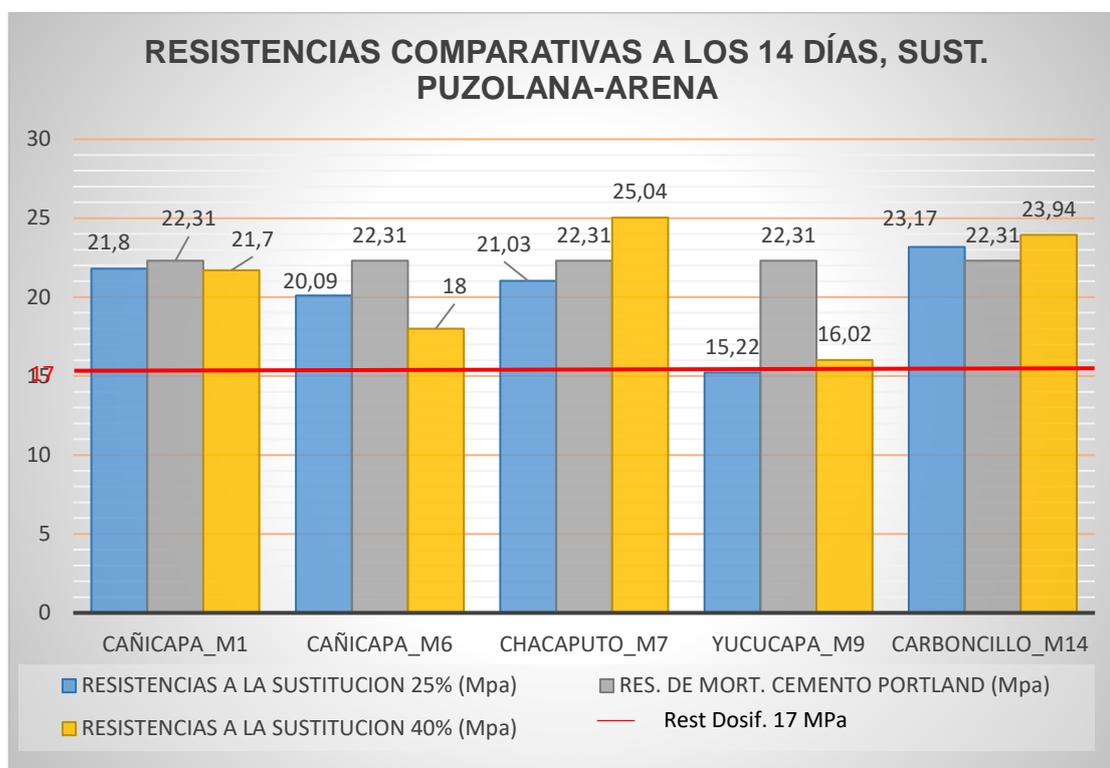


Figura 28: Resistencia comparativa combinación puzolana por arena, 14 días.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Esta combinación se la realizó con el fin de sustituir el material puzolánico por la arena fina, para que el material actúe como árido y a la vez como cementante en la mezcla de hormigón. Según el análisis comparativo de los resultados se obtuvieron excelentes resultados, tanto la sustitución al 40% como al 25%, las resistencias del material de Carboncillo_M14 en combinación 25-40% sobrepasó la resistencia planteada por la dosificación como la resistencia que alcanza el mortero de cemento a los 14 días; la combinación realizada con la muestra de Chacaputo_M7 al 40% tuvo el mismo efecto, sobrepasó los límites alcanzados por el mortero patrón y la resistencia límite que debe tener los morteros de sustitución, pero no tuvo el mismo efecto al 25% de sustitución; además la combinación del material al 25-40% de las muestras de Cañicapa_M1, Cañicapa_M6, fueron satisfactorias, excediendo los 17 MPa aunque no pudo mejorar la resistencia con respecto al de los morteros de albañilería; en tanto el material de Yucucapa_M9 no reacciona como los materiales de los otros sectores.

Al igual que en la combinación puzolana-cemento, también se ensayó el material a los 28 días, en la tabla 23 se muestra de forma resumida los resultados de la resistencia a la compresión en combinación 25-40%.

Tabla 23: Resultado de las resistencia a la compresión en morteros de sustitución (puzolana por arena).

RESISTENCIAS COMPARATIVAS A LOS 28 DÍAS, SUST. PUZOLANA POR ARENA					
	Cañicapa M1	Cañicapa M6	Chacaputo M7	Yucucapa M9	Carboncillo M14
Resistencia a la sustitución 25% (Mpa)	28,25	25,22	33,96	17,39	28,31
Res. de mort. cemento portland (Mpa)	23,72	23,72	23,72	23,72	23,72
Resistencia a la sustitución 40% (Mpa)	27,5	26,88	31,62	17,64	28,08

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

En la figura 29 se muestra una gráfica comparativa con los valores expuestos en la tabla anterior.

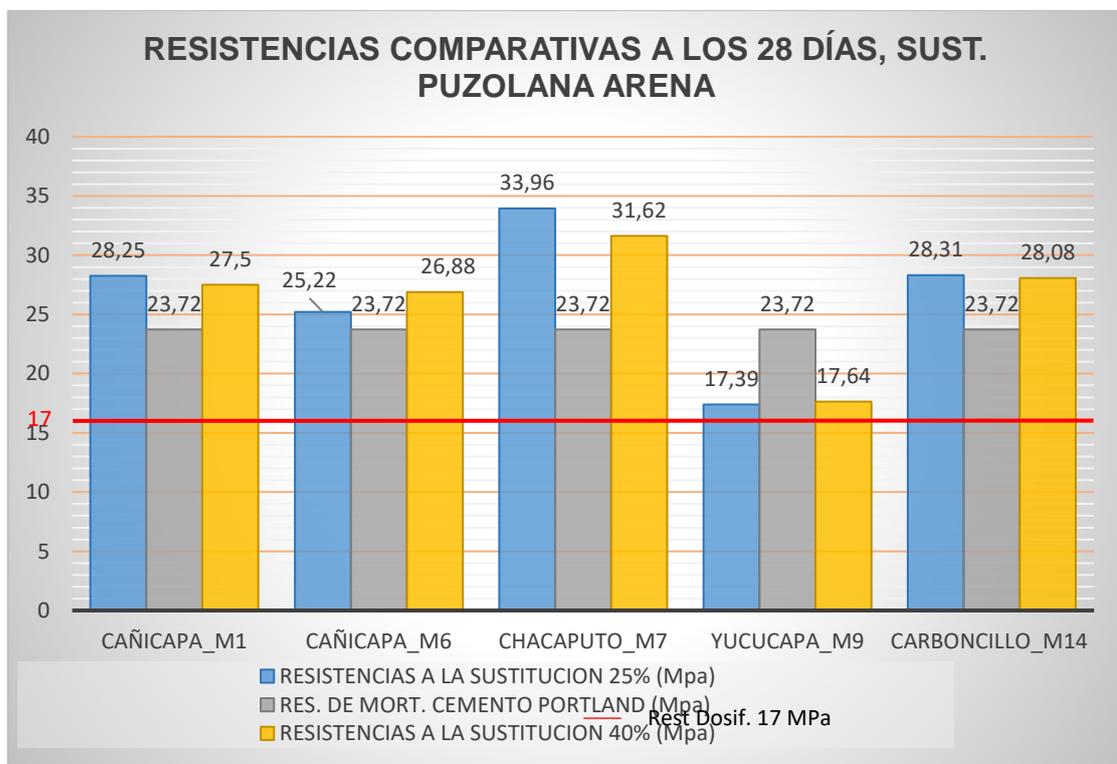


Figura 29: Resistencias comparativas, 14 días.

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

A los 28 días el material reacciona extraordinariamente sobrepasando las expectativas planteadas al principio de la investigación, esto se debe a que el material a más de ser árido también actúa como cementante siendo eficaz esta mezcla para grandes obras ingenieriles.

Casi todas las muestras tuvieron un comportamiento eficaz en cuanto a la resistencia del hormigón, pero la muestra mejor puntuada fue la de Chacaputo_M7 obteniendo resultados representativos, sin embargo la muestra puzolánica correspondiente a Yucucapa_M9, no es satisfactoria, pese al tiempo transcurrido no alcanza los 17 Mpa.

De forma general, según todos los resultados obtenidos la muestra de Yucucapa_M9 sólo puede ser utilizada como sustituyente del cemento más no del árido, esto se debe a que las partículas son muy finas como para que pueda reemplazar un árido, además, los cristales de sus minerales se encuentran mejor formados que la de las otras muestras ensayadas, haciendo que no pueda reaccionar favorablemente con el CaO del cemento, sin embargo puede que ensayando la misma combinación a los 90 días su resistencia mejore, este material puzolánico es diferente a los otros materiales por que al igual que Carboncillo_M14 contiene alumina denotando contenido de arcilla en sus partículas. Las demás muestras reaccionaron efectivamente con el CaO del cemento pese a que no cumple con los estándares de la ASTM C 618 en cuanto al contenido de óxidos del material, pese a este factor en contra, los resultados fueron extraordinarios.

6.5 Cálculo del recurso puzolánico inferido.

Con la ayuda del software ArcMap 10.3 y GlobalMapper se modeló de forma hipotética lo que sería el recurso inferido del material con potencial, según el relieve del lugar.

A continuación se resume los resultados del recurso inferido del material puzolánico por sector, se desprecia Yucucapa por no mostrar mejora o efectividad en la resistencia a la compresión (Tabla 24).

Tabla 24: Resumen de los resultados del recurso inferido del material puzolánico

Sectores	Volume total (m ³)	Toneladas	Área total	Perímetro
Carboncillo	8'292.547 m ³	21.070 x 10 ⁶ ton	171,93 Ha	6, 092 Km
Chacaputo	2'163.943,1 m ³	5.669'530.922 ton	16,03 Ha	1,56 Km
Cañicapa	15'143.388 m ³	40.129 x 10 ⁶ ton	45,122 Ha	2,882 Km

Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se precisa las siguientes conclusiones:

- Según el muestreo realizado se concluye que los lugares con potencial puzolánico son: Cañicapa, Chacaputo, Carboncillo y Yucucapa.
- Se concluye mediante análisis petrográfico y observación directa de campo que las muestras obtenidas en Cañicapa y Chacaputo corresponden a tobas silíceas, Yucucapa corresponde a roca de tipo dacita y Carboncillo a material arenoso altamente meteorizado de toba lítica de lapilli y fragmentos pequeños angulares de rocas de composición intermedia.
- Según el análisis de FRX se determina que las muestras no cumplen con el porcentaje de óxidos que debe tener el material según lo establece la ASTM C 618 para materiales puzolánicos, sin embargo puede que factores externos como el intemperismo, erosión y otros agentes externos a través del tiempo geocronológico influenciaron en el cambio de la composición química del material, no obstante, mediante pruebas físicas y mecánicas (ensayo a la resistencia a la compresión) se determinó que el material muestreado tiene índice de actividad puzolánica (ASTM C 311) en los cinco sectores potenciales, reaccionando efectivamente con el cemento portland, la actividad puzolánica se la expresa de forma porcentual en función del mejoramiento de la resistencia a la compresión del hormigón de morteros con adiciones puzolánicas frente a la resistencia del hormigón de morteros de albañilería. De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el índice de actividad puzolánica en Cañicapa_M1 es 121,76%, Cañicapa_M6 es 119,21%, Chacaputo_M7 es 119,21%, Carboncillo_M14 es 120,18% y Yucucapa_M9 es 100,88%.
- El análisis de DRX ratificó los resultados obtenidos en la FRX mediante la cuantificación porcentual de minerales a través del software TOPAS, determinando que la presencia de cuarzo (SiO_2) en las muestra de Cañicapa_M1 es 97,79%, Cañicapa_M6 es 99,95% y Chacaputo es 100%, no obstante la composición mineralógica de la muestra del sector Carboncillo_M14 varía con respecto a las demás muestras, ésta consta de cuarzo (15,46%), dickita (11,76%), zircón (2%), albita (1,29%), andesina (67,70%), hornblenda (0,54%); los minerales de la muestra Yucucapa se determinó de forma cualitativa mediante el software EVA, obteniendo cuarzo, caolinita, albita y gibsita.
- El análisis mineralógico de lámina delgada sólo fue posible realizarlo a la muestra correspondiente a Cañicapa y Yucucapa, debido al estado alto de meteorización y

erosión de los afloramientos, mediante análisis de lámina delgada se determina que la muestra de roca del sector Cañicapa corresponde a una toba silíceo, casi el total de su matriz está compuesta por cuarzo amorfo (cuarzo 95-98%, hematita 1-2%, zircón 1-2%) y la muestra de roca del sector Yucucapa corresponde a una roca dacítica (feldespato alcalino 20-25%, cuarzo 40-45%, plagioclasa 25-30% y biotita 5-10%).

- Se concluye que el peso específico del material de Cañicapa_M1 es de 2,66 gr/cm³, Cañicapa_M6 es 2,64 gr/cm³, Chacaputo_M7 es 2,62 gr/cm³, Yucucapa_M9 es 2,5 gr/cm³, y Carboncillo_M14 es 2,54 gr/cm³.
- Se determina que la distribución de las partículas que pasan el tamiz #200 según el análisis del hidrómetro queda de la siguiente manera: Cañicapa_M1 4,9 % arcilla, 46,95% limo, 48,15% arena; Cañicapa_M6 3% arcilla, 47% limo, 50% arena; Chacaputo_M7 15% arcilla, 37,64% limo, 47,36% arena; Yucucapa_M9 15,5% arcilla, 58,32% limo, 26,18% arena.; Carboncillo_M14 12,5% arcilla. 46,2 % limo, 41,3% arena; se concluye las muestras de material correspondientes a Cañicapa (M1_M6), Carboncillo (M14) y Chacaputo (M7) corresponden a partículas de tamaño de la arena, éstas se encuentran entre 41-50% de la muestra total.
- Para la segunda combinación en la fabricación de morteros se necesitó el módulo de finura de la arena para tener una idea de la finura del material y si este está apto para reemplazar a la arena de forma total, se obtuvo los siguientes resultados, Cañicapa_M1 2,90 % (media), Cañicapa_M6 3,00 % (gruesa), Chacaputo_M7 3,20% (gruesa), Yucucapa_M9 2,89% (media), Carboncillo_M13 3,19% (gruesa) y la arena de Malacatos 2, 90% (media).
- Del análisis del material más fino que pasa el tamiz #200 se concluye que el porcentaje de la muestra de Cañicapa_M1 es: 25,35%; Cañicapa_M6: 25%; Chacaputo_M7: 16,53%; Yucucapa_M9: 28,40%; Carboncillo_M14: 17,45%, teniendo más cantidad de material pasante la muestra de Yucucapa, debido al contenido de arcilla encontrado anteriormente en otros análisis.
- Debido a los altos contenidos de sílice, en las combinaciones de mezcla para morteros fue necesario adicionarle cal al material, debido a rol químico de las muestras de las muestras al reaccionar con el hidróxido de calcio del cemento.
- De la primera combinación realizada para la fabricación de morteros que sustituye el material puzolánico por cemento se concluye a la edad de 14 días al 25% de sustitución de cemento, el material puzolánico sobrepasa el límite de la resistencia establecido para la dosificación (17 Mpa) pero no suficiente para mejorar la resistencia

que tiene el mortero patrón (22,31 Mpa) a esa edad de rotura, excepto el material de Yucucapa que a la edad de 14 días y al 25% de sustitución no alcanza el tope máximo de la resistencia establecida por la dosificación dada, lo mismo ocurre con las demás muestras al 40% de sustitución de cemento, no alcanzan el tope máximo de la resistencias establecida en la dosificación al igual que Yucucapa. A la edad de 28 días al 25% todas las muestras mejoran la resistencia de la mezcla teniendo el valor más alto de Cañicapa_M6 de 26,9 Mpa frente a la resistencia de la muestra patrón (23,72 Mpa) excepto Yucucapa que apenas sobrepasa los 17Mpa. En cuanto a la sustitución 40%, la resistencia también incrementa sobrepasando la resistencia tope de la dosificación pero no pudiendo compararla con la resistencia de la muestra patrón (23, 72 Mpa), la muestra correspondiente a Yucucapa pese a que su resistencia a la compresión subió no llega al tope máximo de la resistencia para la dosificación dada. Por lo tanto se concluye que la combinación idónea para la fabricación de morteros de sustitución es del 25%, no se descarta que lo sea al 40% ya que a los 28 días los morteros aún no llegan a su resistencia máxima. La puzolana mejora notablemente la resistencia a la compresión con respecto a los morteros común de albañilería, proyectadas las cantidades en grandes volúmenes puede representar un ahorro económico y ecológico considerable.

- La segunda combinación reemplaza al árido fino en su totalidad, a la edad de 14 días al 25% todos los materiales mejoraron su resistencia en cuanto a la resistencia dada por la dosificación (17 Mpa), solamente la muestra de Carboncillo_M14 (23,17 Mpa) superó la resistencia a la del mortero patrón (22,31 Mpa); en cuanto a las probetas ensayadas por el 40% de sustitución Chacaputo_M7 (25,04 Mpa) y Carboncillo_M14 (23,94 Mpa) superaron la resistencia del mortero patrón (22,31 Mpa), en tanto que la muestra correspondiente a Yucucapa, no supera los 17MPa ni al 25% ni tampoco al 40% de sustitución por árido. A la edad de 28 días las probetas ensayadas muestran un significativo mejoramiento de la resistencia a la compresión de morteros de sustitución puzolana-arena frente a la resistencia del mortero patrón (23,72 Mpa), obteniendo resultados extraordinarios, mientras que Yucucapa también mejoró su resistencia llegando 17,39 Mpa y 17,64 Mpa, al 25 % y 40% respectivamente resultado que no podrá ser comparado al del mortero patrón (23,72 Mpa); el resultado más alto es el de Chacaputo_ M7 31,62 Mpa y 33,96 Mpa al 25% y 40% respectivamente debido al tamaño de grano de las partículas del material. Se concluye que ambas sustituciones (25 y 40% de puzolana por arena) son de alto rendimiento según el uso potencial que se le puede dar posteriormente. Con los resultados obtenidos se concluye que el material puzolánico combinado de esta manera mejora las

propiedades mecánicas del hormigón aumentando la resistencia a la compresión frente a los morteros comunes de cemento-arena.

- Se concluye que la sustitución de puzolana por arena hace que tenga un mejor efecto puzolánico aumentando la resistencia en 7 puntos en comparación de la sustitución de puzolana por cemento, la resistencia más alta alcanzada a los 28 días en la sustitución de puzolana por arena es 33,96 Mpa correspondiente a Chacaputo_M7 y la resistencia más alta de la sustitución de puzolana por cemento es Cañicapa_M6 de 26,9 Mpa, una de las razones es la composición química de los materiales ya que al sustituir la cantidad de arena total por material puzolánico tiene más posibilidades de activarse con el hidróxido de calcio del cemento y sílice de la puzolana más cal por la cantidad intacta del cemento según su dosificación, otra razón es la distribución granulométrica de las partículas de las puzolana con respecto a la de la arena de Malacatos, ya que según el módulo de finura ésta va de media a gruesa al igual que la de Malacatos que es media.
- Los resultados obtenidos en la combinación puzolana por cemento podría tener una futura aplicación en el abaratamiento de costos en la construcción de viviendas populares, por el ahorro que implica dejar de utilizar el cemento, otra aplicación por la resistencia del material es la fabricación de adoquines.
- Según la evaluación del recurso inferido se concluye que Carboncillo tiene 21.070×10^6 ton de material, Chacaputo $5.669'922$ ton de material y Cañicapa $40\ 129 \times 10^6$ ton de material.

RECOMENDACIONES

- La norma ASTM C 618 establece la cantidad de óxidos que debe constar generalmente un material con presunta puzolanidad, pero habrán materiales que pese a que no cumplen esta norma, tienen intrínsecas sus propiedades mecánicas, se recomienda que a todo material con presunta puzolanidad se evalúe su actividad puzolánica.
- Antes de evaluar la resistencia a la compresión de morteros de sustitución se debe determinar la actividad puzolánica probando varios ensayos experimentales.
- Para mejorar el efecto puzolánico del material en las combinaciones se recomienda moler el material antes de la preparación del hormigón, para evitar la formación de espacios capilares que se genera durante la hidratación del cemento tal como lo hacen las grandes industrias para fabricar cemento puzolánico.
- Por la disminución del calor de hidratación la puzolana fragua lentamente así que se recomienda que para todos los ensayos de resistencia a la compresión de morteros se haga roturas adicionales a los 56 y 90 días, ya que a los 28 días el material puzolánico no alcanza su resistencia máxima, dada sus propiedades en cuanto a la resistencia a la compresión el material podría tener un alto valor en el mercado sustituyendo arena o cemento, para ellos se recomienda se realicen estudios a fondo.
- Se recomienda realizarle otros ensayos al material correspondiente de Yucucapa, pese a que tiene actividad puzolánica no se obtuvieron resultados satisfactorios para las dos combinaciones.
- Se recomienda realizar levantamientos de información geológica a detalle, con la finalidad de evaluar el recurso inferido a mayor precisión.
- Según los resultados favorables obtenidos en esta investigación con respecto a la resistencia del hormigón adicionando puzolana se recomienda se realice un estudio medio ambiental sobre el impacto que produce al sustituir el material puzolánico de tipo natural por cemento.
- Se recomienda en futuras investigaciones se realicen nuevas sustituciones en diferentes porcentajes con el material puzolánico, para verificar su comportamiento y beneficios que puede aportar al hormigón.
- Según el potencial puzolánico que tiene el cantón Saraguro, se recomienda seguir explorando geológicamente por el cantón.

- Se podría construir viviendas de bajo coste con la combinación puzolana por cemento, o aglomerante en el hormigón para la construcción de adoquines en la conformación de vías, pero debido a los resultados de resistencia a la compresión obtenidos en la sustitución de puzolana por arena, se recomienda se realicen otros análisis mecánicos y físicos para evaluar a fondo el material puzolánico y darle la aplicación óptima al material.

BIBLIOGRAFÍA

- American Society for Testing and Materials C 618. (2005). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete*. United States: ASTM.
- American Society for Testing and Materials C 593. (2005). *"Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use With Lime"*. Unites States: American Society for Testing and Materials.
- Byron Jaigua, S. V. (2010). *Estudio de hormigones de altas prestaciones utilizando áridos y cemento local, cenizas volantes naturales y super-plasticante*". Cuenca.
- COGUANOR. (2010). *Comisión Guatemalteca de Normas*. Guatemala: Ministerio de Economía. Calzada Atanazo Azul 27-32. Obtenido de <http://www.mineco.gob.gt>
- Delgado, A., & Negrete, C. (2012). *"Evaluación del uso de arcilla y puzolanas en la etapa de molienda de acabado para la fabricación de cemento portland puzolánico tipo IP"*. Cuenca-Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Dopico, J., Hernandez, F., Day, R., Bernhard, M., Gehrke, M., & Martinez, L. (2008). Desarrollo de hormigones con aglomerante cal-puzolana fina como material cementico suplementario. *Scielo*, 2-8.
- Dunkley, P. N., & Gaubor, A. (1997). *Informe N° 2 , Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica: Geology of the Western Cordillera of Ecuador between 2-3° S* . Quito-Ecuador: CODIGEM-BGS.
- Duque, P. (2000). *Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador*. Quito-Ecuador: PRODEMINCA.
- ECOSUR. (02 de 2014). *Red Ecosur*. Obtenido de <http://www.ecosur.org/index.php/ecomateriales/cemento-puzol%C3%A1nico>
- Equipo Técnico GADP Parroquia El Paraíso de Celén. (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA*. SARAGURO: GOBIERNO PARROQUIAL EL PARAISO DE CELEN.
- Equipo Técnico GADP Parroquia San Pablo de Tenta. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquial de San Pablo de Tenta*. Saraguro: JUNTA PARROQUIAL DE SAN PABLO DE TENTA.

- Equipo Técnico GADP Parroquia Urdaneta. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Urdaneta*. Saraguro: GADP Parroquia Urdaneta.
- Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. (18 de 03 de 2017). *INGENIERIA RURAL*. Obtenido de http://www.ingenieriarural.com/Trans_const/Tema9.pdf
- Fernández, M. (2013). *Hormigón*. (10° Edición ed.). Madrid, España: La Garceta.
- FLORES, Y. (2013). *CARACTERIZACION FISICO MECANICA Y QUIMICA DE ARCILLAS DEL SECTOR NORTE DE LA CUENCA SEDIMENTARIA MIOCENICA DE LOJA*. TRABAJO DE FIN DE TITULACION, UTPL, LOJA. Recuperado el 01 de 02 de 2016, de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8105/1/Flores%20Carpio,%20Yetzabel%20Gerarda.pdf>
- GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO . (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN SARAGURO*. PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, Saraguro. doi:S/R
- Gómez, A. (2009). *"Caracterización y utilización de puzolanas como aditivos minerales activos en cementos". Aplicación en viviendas de bajo coste*. Valencia-España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Perteson, D., . . . Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of. *Earth-Science Reviews*, 108-111.
- INIGEM. (2 de Julio de 2006). *Geoinvestigación. Revista Institucional Digital del INIGEM*. Obtenido de http://www.geoinvestigacion.gob.ec/revista%20digital/revista_0002.pdf
- INIGEMM. (2015). *Memoria Técnica: Mapa Geológico de la Cordillera Occidental 3° - 4° S, 1:200000*. Quito-Ecuador: INIGEMM.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización 501. (2011). *"Hormigón de cemento portland, ceniza volante o puzolana natural para su uso en el hormigón de cemento portland, muestreo y ensayos"*. Quito-Ecuador: INEN.
- Jaigua Romero, B. J., & Vázquez Urgilés , S. (2010). *ESTUDIO DE HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES UTILIZANDO ARIDOS Y CEMENTO LOCAL , CENIZAS VOLCANICAS PLASTIFICANTES* . Cuenca.

- Manobanda, D. I. (2008). *HORMIGON LIVIANO CON AGREGADO DE ORIGEN VOLCANICO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE*. GUAYAQUIL: ESPOL.
- Mella, A. (2004). *"Estudio, caracterización y evaluación de puzoolanas locales en la masa cerámica del ladrillo"*. Concepción-Chile: n/d.
- Meza, V. E. (2013). *Guía de Laboratorio de Mecánica de suelos*. Medellín, Colombia: Fondo Editorial Politécnico Colombiano Jaime.
- Mindiola, J. (2011). *"Cemento Portland puzolánico-influencia del tipo de cemento en la cantidad de agua de mezclado"*. Guayaquil-Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- NTE INEN 488. (2009). *Cemeneto Hidráulico. Dterminación de la resitencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista*. Quito-Ecuador: Intitituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 496. (1980). *Puzolanas Determinación del Índice de Actividad Puzolanica, Metodo del Cemento*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN1 501. (2011). *Hormigón de cemento Portland. Ceniza volante o Puzolana natural para su uso en el hormigón de cemento Portland. Muestreo y ensayos*. Quito-Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Pablo, C. (2011). *Geología Económica de las vetas auríferas de Yashipa, Prospecto Shaglli, Provincia del Azuay*. Quito-Ecuador: EPN.
- Palacios, O., Pillatasig, L., Sánchez, J., & al., e. (s.f). *Transición de los Andes Centrales a los Andes del Norte: Nueva compresión basada en el reconocimiento de campo y nuevos datos geoquímicos-geocronológicos*. DINAGE, INGEMMET, GSC.
- PALADINES , A., & SOTO. (2010). *GEOLOGÍA Y YACIMEINTOS MINERALES DEL ECUADOR*. LOJA, ECUADOR: UTPL. doi:978-9942-00-890-9
- Pratt, W. (1997). *Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 3°-4°, escala 1:200000*. Quito-Ecuador: BGS-CODIGEM-MEM.
- Pratt, W., Figueroa, J., & Flores, B. (1997). *Informe N°1, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica: Mapa escala 1:200000. Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 3° S and 4° S*. Quito-Ecuador: CODIGEM-BGS.

- PRODEMINCA, U. (2000). *BREVE LEXICO ESTRATIGRAFICO DEL ECUADOR*. (P. DUQUE, Ed.) QUITO, ECUADOR: IMPRESORAA FLORES. Recuperado el 01 de 02 de 2015
- Salazar, A. (2006). *Ecoingeniería*. Obtenido de <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>
- SALAZAR, A. (2010). *ECOINGENIERIA*. Recuperado el 01 de FEBRERO de 2016, de PUZOLANAS: <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>
- Sánchez, F. J. (2002). *Historia, caracterización de morteros*. Sevilla: Pedro Cid S.A.
- Suárez, A., & Urgiles, M. (2010). "*Caracterización de la ceniza volcánica del Tungurahua para la fabricación de un aglomerante Cal-puzolana*". Cuenca-Ecuador: Universidad de Cuenca.
- United Nation Development Programme. (1969). *Survey of metallic and non-metallic minerals. Coal Investigations (Operation No. 1, Cuenca-Biblián and Loja). Technical Report*. Quito-New York: United Nations Development Programme.
- Vázquez, T. N. (2006). *Caracterización del origen y uso de puzolana localizada en las cercanías de Carapeguá, departamento de Paraguarí de la República del Paraguay. SAN LORENZO – PARAGUAY*. Recuperado el 01 de 02 de 2016, de <http://www.geologiadelparaguay.com.py/Puzolana.pdf>
- Vera, R. (2013). *Geology of Ecuador: an Introduction to the unique gology of ecuador*. Quito-Ecuador: Gráficas Iberia.

ANEXOS

- ANEXO I. Procedimiento de ensayos de laboratorio.**
- ANEXO II. Cálculo de ensayos de laboratorio.**
- ANEXO III. Resultados de ensayos de laboratorio.**
- ANEXO IV. Modelamiento 3D de los recursos puzolánicas inferidos.**

ANEXO I. Procedimiento de ensayos de laboratorio.

- a. Preparación de la muestra.
- b. Fluorescencia de rayos X (FRX).
- c. Difracción de rayos X (DRX).
- d. Mineralogía de lámina delgada.
- e. Método del picnómetro.
- f. Granulometría por el método del hidrómetro.
- g. Granulometría por tamizado y módulo de finura.
- h. Material pasante el tamiz #200.
- i. Resistencia a la compresión. Índice de actividad puzolánica.

ANEXO I.a. Preparación de la muestra

Aparatos y equipos:

- Bandejas de pyrex
- Estufa marca POL-EKO.
- Trituradora marca RESTSCH BB200 WC.
- Cuarteador FRISTCH.
- Pulverizador de marca RETSCH Modelo RS1

Procedimiento:

- Tomar el material puzolánico recolectado y someterlo al proceso de secado con la finalidad de eliminar la humedad de la muestra. Colocar el material en bandejas de pyrex etiquetados e introducido en una estufa marca POL-EKO (Fig 30. a), a 105 °C durante 24 horas.
- Subsecuentemente, triturar el material con el fin de reducir el tamaño de la muestra (previamente secada) mediante el equipo de trituración marca RESTSCH BB200 WC (Fig. 30. b), con una mano metálica alimentar la trituradora utilizando aberturas descendentes de 20, 10, 5 y 1 mm.



Figura 30: a) Estufa POL-EKO. b) Trituradora RESTSCH BB200 WC.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

- Una vez triturado el material, proceder a cuartear el mismo con el objetivo de homogenizar la muestra y que la dispersión del tamaño de las partículas se encuentre bien distribuidas a la hora de realizar la selección del material. Éste procedimiento se

llevó a cabo en el cuarteador FRISTCH, que se alimentó con la muestra triturada hasta obtener aproximadamente 100 gr del material.

- Con el propósito de reducir el tamaño de las partículas para el correcto análisis de FRX y DRX, se procedió a pulverizar en el equipo pulverizador marca RETSCH Modelo RS1 (Fig. 31. a). El proceso consistió en tomar 100 gr del material triturado, esparcirlo en el recipiente del equipo e introducirlo en el mismo para pulverizarlo a 700 rpm en 3 min (Fig. 31. b). El material obtenido se lo almacena en una funda plástica etiquetada.



Figura 31: a) Pulverizador RETCH modelo RS1. b) Moldes del equipo pulverizador.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

ANEXO I.b. Fluorescencia de rayos X (FRX).

Aparatos y equipos:

- Espatula metalicas
- Balanza electrónica.
- Equipo de FRX BRUKER TURBO S-1 (Fig. 32)

Procedimiento:

- Exteder 100 gr de muestra pulverizados en una sección rectangular plástica, luego proceder a levantar una esquina de la sección hasta el tope de la otra esquina, con el fin de homogenizar correctamente la muestra.
- Esparcir el material homogenizado con una espátula por toda la sección plástica de forma regular, dividir en secciones iguales y tomar material de cada seccion hasta conseguir aproximadamente de 10-15 gr, almacenar en fundas plásticas etiquetadas, a continuación proceder a preparar el equipo de fluorescencia.
- Tomar dos pocillos (recipientes plasticos especiales para rayos X pertenecientes al equipo) limpiar en seco con el compresor de aire, a cada uno llenarlos hasta el tope del recipiente del mismo material.
- Colocar el pocillo sobre la plataforma del equipo y proceder a taparlo con la cápsula de plomo, seguidamente configurar el método del equipo a utilizar (Minning Light Elements) y se procede analizar. El método Minning Light Elements permite obtener los principales óxidos que componen el material que fue analizado a excepción del Na₂O.
- Los resultados químicos cuantitativos son dados en porcentajes de tres decimales los mismos que son grabados en el equipo pero también son anotados en la libreta.



Figura 32: Equipo de fluorescencia de rayos X.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

ANEXO I.c Difracción de rayos X (DRX)

Procedimiento.

- Proceder a tomar la muestra pulverizada, homogenizar y dividir en secciones el material, tomar alrededor de 10 – 15 gr, para el análisis de DRX.
- Tomar un tubo y llenar hasta el tope del material, una vez realizado este procedimiento se lleva al laboratorio de química de la UTPPL dónde los expertos realizaron el análisis de DRX.
- El resultado fue un difractograma que se lo interpretó mediante el Software TOPAS.

ANEXO I.d. Mineralogía de lámina delgada.

Aparatos y equipos:

- Cortadora de disco adiamantado marca ISOMET LAPRO 18
- Cámara de vacío marca BUEHLER
- Pulidora para briquetas marca METASRV
- Pulidora de secciones delgadas marca PETROPOL BUEHLER
- Microscopio marca OLYMPUS BH-2

Procedimiento:

- Seleccionar una roca representativa lo más sana posible, que no presente poros o fisuras y que no supere los 30 cm.
- Colocar la roca en la cortadora ISOMET LAPRO 18 (Fig. 17), para obtener un taco de medidas aproximadas de 1 x 2,5 x 5 de manera que se adapten a las medidas del porta objetos.
- A continuación, igualar las caras del prisma rectangular o briquetas en la pulidora METASRV con la finalidad de eliminar imperfecciones como rayas además de alcanzar uniformidad en la cara de la biqueta. Para este proceso se utilizó las lijas abrasivas # 120, 240, 400, 600 y 800.
- Con la relación 5:1 preparar la resina y el endurecedor y untar sobre una de las superficies de la biqueta que será analizada con la finalidad de rellenar los poros, a continuación colocar la biqueta en la cámara de vacío BUEHLER durante un par de días para el absoluto secado.
- Se calienta la plancha con el fin de calentar la muestra, luego se coloca bálsamo de Canadá y haciendo presión por toda la superficie se pega la biqueta al portaobjetos.
- Trasladar la biqueta al desecador por un tiempo aproximado de 7 días.
- En la cortadora de briquetas proceder a cortar las veces necesarias y devastar la muestra hasta alcanzar un espesor de 30 micrones.
- Finalmente secar cuidadosamente y proceder analizar en el microscopio petrográfico OLYMPUS BH-2, en el que se describen las propiedades físicas de los minerales (estructura, color, forma) determinando finalmente el tipo de roca.

ANEXO I.e. Método del picnómetro.

Aparatos y equipos:

- Piseta
- Material a ensayar
- Picnómetro 5 ml
- Balanza electrónica. (Fig. 33)



Figura 33: Método del picnómetro
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor

Procedimiento:

- Pesar el picnómetro vacío.
- Luego, pesar el picnómetro con la muestra.
- A continuación, el picnómetro que contiene la muestra se le añade agua y se procede a pesar éste.
- Por último, lavar y secar el picnómetro y se pesa el picnómetro sólo con agua.
- Este procedimiento se lo realizó cuatro veces por muestra, con el fin de hacer una media con los cuatro resultados finales, para la obtención del peso específico se empleó la siguiente fórmula.

ANEXO I.f. Granulometría por el método del hidrómetro.

Aparatos y equipo.

- Tamiz #200.
- 50 gr de muestra pasante el tamiz #200.
- Agitador mecánico.
- Agitador neumático con recipiente de dispersión.
- Hidrómetro de 151H o 152H.
- 2 probetas de 1000 ml.
- Termómetro de inmersión.
- Cronómetro.
- Estufa 110 °C.
- Vaso de precipitación de 250 ml y 500 ml.
- Solución de hexanetafosfato de sodio (8-9 pH).
- Agua destilada.

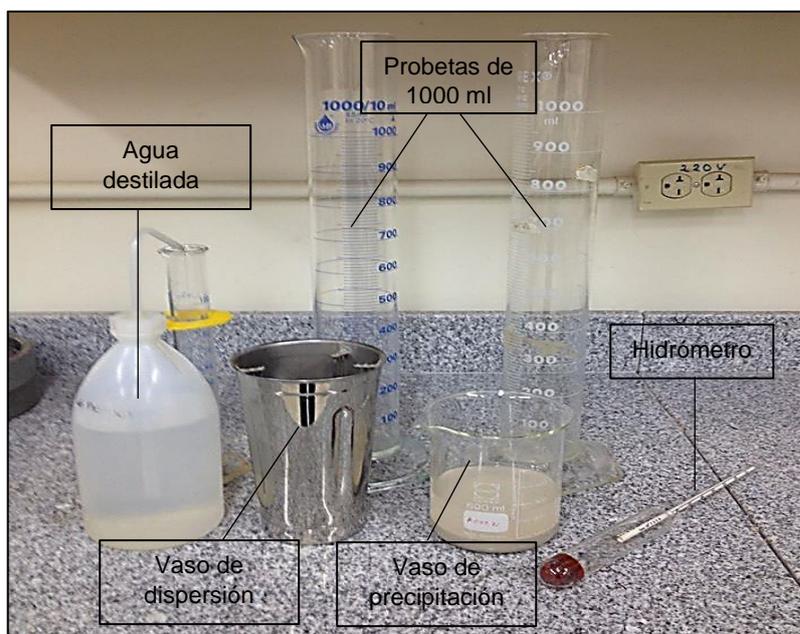


Figura 34: Equipos utilizados en el ensayo del hidrómetro.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor.

Procedimiento:

- Secar el agua retenida en la muestra en el horno a 110 °C, pasar la muestra por el tamiz #200 hasta obtener 50 gr.
- Tomar el vaso de precipitación de 250 ml y colocar los 50 gr de material más 125 ml de la solución de hexametáfosfato de sodio (40 gr/lit), la muestra con la solución se la dejó reposar por 12 horas.
- Después del tiempo de saturación colocar la solución en un vaso de dispersión lavando cuidadosamente con agua destilada cualquier residuo que quede en las paredes del recipiente, la solución debe cubrir las $\frac{3}{4}$ partes del vaso de dispersión.
- Luego, trasladar el vaso dispersor hasta el agitador y proceder a encenderlo durante 1 min
- Después, colocar la solución del vaso de dispersión en una probeta de 1000 ml hasta su aforo (aforar con agua destilada).
- Agitar manualmente la probeta que contiene la muestra durante 60 segundos removiendo sedimentos del fondo.
- Sobre una superficie proceder a colocar la probeta de 1000 ml e inmediatamente se inicia la cuenta con el cronometro paralelamente se introduce el hidrómetro en el líquido en suspensión.
- Se observa y se apunta la lectura en 1 min, se retira el hidrómetro y se lo coloca en otra probeta llena de agua inmediatamente se procede a colocar el termómetro en la probeta con la solución en suspensión obteniendo el dato de la temperatura también, el procedimiento se repite a los 2 min, 5 min, 15 min, 30 min, 60 min, 120 min, 250 min y a los 1440 min.
- Finalmente, proceder a realizar los cálculos pertinentes para la determinar el porcentaje de partículas que pasa el tamiz #200, y su distribución granulométrica.

ANEXO I.g Granulometría por tamizado y módulo de finura.

Aparatos y Equipos:

- Balanza electrónica.
- Agitador de tamices mecánicos (Fig. 35).
- Tamices de serie: #4; #8; #16; #30; #50; #100; #200 y fondo.
- 600 gramos del árido a utilizar (arena y material puzolánico).



Figura 35: Agitador de tamices mecánico

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor

Procedimiento:

- Secar la masa total a analizar en el horno a 110 °C.
- Pesar la serie de tamices seleccionado (tamices #4; #8; #16; #30; #50; #100; #200 y fondo) para el análisis granulométrico y ordenarlos de forma descendente en el agitador de tamices mecánico.
- Homogenizar la muestra del árido y tomar 600 gr aprox. de la muestra.
- Colocar la muestra en el tamiz superior, tapar y encender el agitador de tamices durante 5 min.
- Retirar cuidadosamente los tamices con la muestra y pesarlos a cada uno
- A continuación se procede a calcular los porcentajes retenidos totales en cada tamiz.
- Para el cálculo del módulo de finura, se suma los porcentajes retenidos en las mallas #4; #8; #16; #30; #50; #100 y se divide para 100, el valor obtenido será el indicador de finura del agregado.

ANEXO I.h. Material pasante el tamiz #200.

Aparatos y equipos:

- Balanza electrónica
- Tamices No. 16 y 200
- Fuentes para el lavado.
- Estufa.

Procedimiento:

- Mezclar la muestra homogenizandola y reduciendola hasta conseguir 300 gr, tal como especifica la norma NTE INEN 697: 2010, luego se procedió a secarla en un horno a 110 °C.
- Colocar la muestra sobre un recipiente y cubrirla con agua, a continuación se procede a agitar bien la muestra con el recipiente hasta lograr una completa separación de las partículas más gruesas de las finas, consiguiendo la suspensión de las partículas más finas en el medio acuoso.
- Verter el agua del lavado sobre los tamices armados (el tamiz más grueso en la parte superior).
- Repetir varias veces el proceso hasta que no aparezcan sólidos en suspensión y el agua del lavado este clara.
- Se finaliza el proceso regresando el material retenido en los tamices al recipiente y enjuagando cada uno de ellos, a continuación se introduce la muestra al horno a 110 °C, y se realizan los cálculos pertinentes.

ANEXO I.i Resistencia a la compresión. Índice de puzolanidad.

Aparatos y equipos:

- Mezcladora mecánica con paleta y tazón de mezclado de acero inoxidable (Fig. 36).
- Espátula.
- Probeta de 1000 ml
- Balanza electrónica
- Material para mezcla de control y la mezcla de ensayo (arena, agua, cemento, muestra de ensayo).



Figura 36: Equipo Mezclador.

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Procedimiento:

Pesar los materiales para la mezcla de control (arena, cemento, agua) y la mezcla de ensayo (arena, cemento, agua y muestra de ensayo) según las proporciones expuestas en la NTE INEN1 501 (Tabla 25).

Tabla 25: Proporciones para elaborar una mezcla de ensayo y una mezcla de control

	Mezcla de control	Mezcla de ensayo
Cemento portland, g	500	400
Muestra de ensayo, g	-----	100
Arena graduada normalizada, g	1375	1375
Agua, cm ³	242	La suficiente para producir un flujo \pm 5% de la que produce la mezcla de control.

Fuente: NTE INEN1 501 (2011)

Elaboración: Autor

- Iniciar el proceso con la preparación de la mezcla de control, para esto se procede a verter el cemento y el agua sobre el tazón de mezclado, se deja reposar durante 1 min. A continuación accionar el mezclador mecánico a baja velocidad y se mezcla durante 30 seg.
- Con precaución añadir la arena al tazón de mezclado mientras se mezcla a baja velocidad, durante 30 seg.
- Al completar el tiempo estipulado anteriormente se detiene el mezclador y se cambia la velocidad baja a velocidad media y se mezcla nuevamente durante 30 seg.
- Detener nuevamente el mezclador y dejar reposar la mezcla de control durante 1 min. Durante los primeros 15 seg recoger con la espátula lo que pudo quedar en las paredes del recipiente.
- Finalizar el proceso mezclando nuevamente a velocidad media durante 1 min.
- El mismo proceso de mezclado se realiza para la mezcla de ensayo, excepto que al principio se vierte el cemento con la muestra de ensayo y luego el agua.

Equipos y materiales para determinar la fluidez del mortero (NTE INEN 2 502).

- Mesa de flujo y molde de flujo (Fig. 37).
- Calibrador.
- Compactador.
- Espátula.

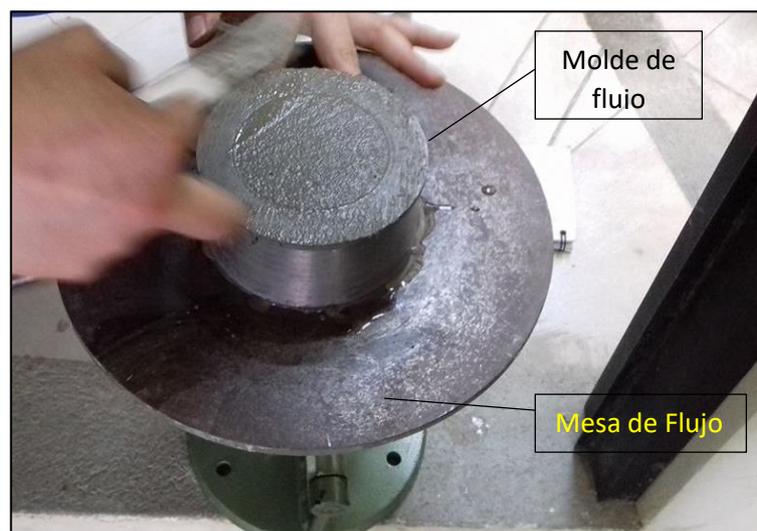


Figura 37: Equipo de fluidez
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

Procedimiento.

- Limpiar y secar cuidadosamente la mesa de flujo y en el centro de ésta colocar el molde del flujo, la preparación del equipo se realizó previo a la preparación de la mezcla.
- Una vez mezclado el material (proceso descrito anteriormente), colocar cuidadosamente una capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor sobre el molde de flujo y se apisona manualmente 20 veces con el compactador.
- Inmediatamente colocar otra capa de la mezcla hasta obtener un llenado uniforme y compactar de la misma forma que la capa anterior.
- Enrasar el mortero con la espátula hasta obtener una superficie plana nivelada con el borde del molde.

Al finalizar el proceso antes descrito se escoge el número de especímenes (probetas cilíndricas de 10 x 5cm), los especímenes deben estar preparados tal como lo indica la NTE INEN 488, puede moldearse solamente tres probetas de la mezcla de control y tres probetas para la mezcla de ensayo según la NTE INEN1 501 para ensayarlo a los 7 días el total de especímenes a evaluar corresponde a 18 probetas.

El moldeo del material dentro de los especímenes se lo realizó mediante apisonado manual tal como lo especifica la NTE INEN 488, el moldeo de las probetas se realiza sobre una placa metálica, una vez fabricados los morteros no se puede mover de su lugar, estos se los dejará hasta que pierdan plasticidad y se endurezcan a temperatura ambiente durante 24 horas, así iniciando el proceso de fraguado. Luego de transcurrido el tiempo, se desencofra los morteros y se etiqueta las muestras para someterlas a curado, pues se toma un recipiente rectangular se llena de agua y se coloca las probetas etiquetadas durante la edad del ensayo (7 días) (Fig. 38).



Figura 38: Moldeo y fraguado de las probetas.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor

Una vez terminado el tiempo de curado se procede a sacar las muestras del agua y colocarlas sobre una superficie seca durante 2 horas, luego se pesa la muestra, y se toma los diámetros y alturas correspondientes. Se prosigue a calentar el azufre y se refrenta colocando el azufre en las caras del mortero con la finalidad que las caras queden uniformes, planas y lisas. Finalmente se calibro el equipo ACCU- TEK de compresión programandolo de acuerdo a las medidas del mortero resultante. Se coloca el mortero en el equipo y se aplica la carga máxima al mortero hasta que éste falle (Fig. 39).

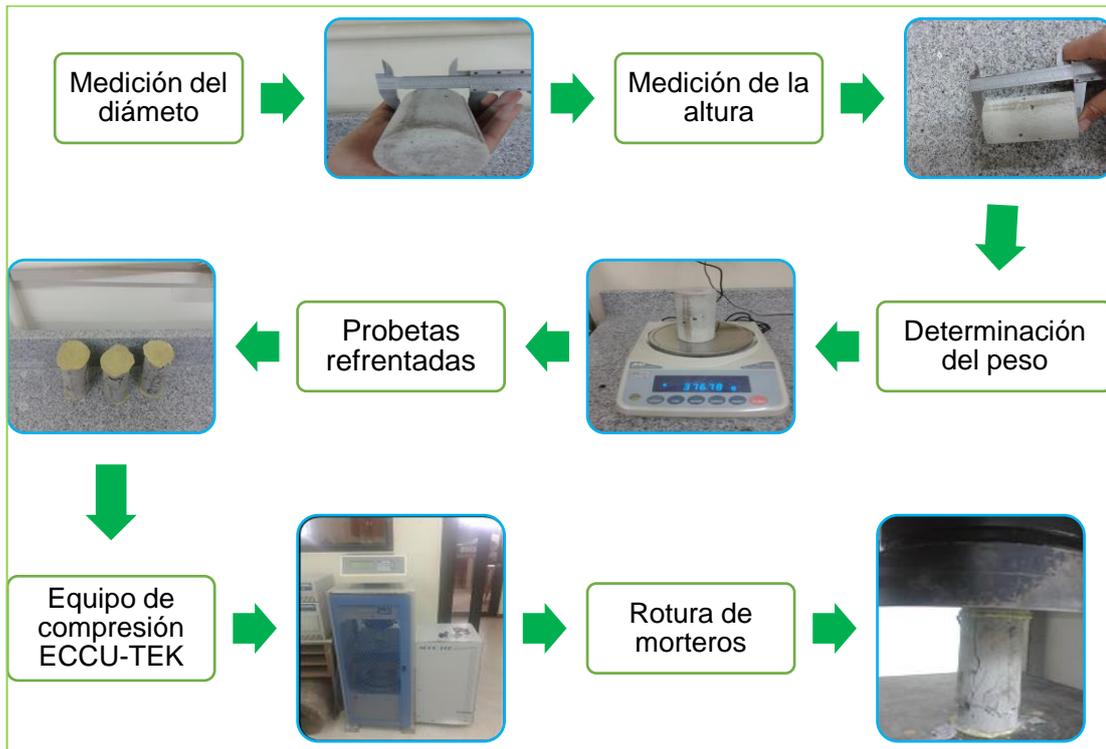


Figura 39: Síntesis del proceso después del curado.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

ANEXO II. Cálculo de ensayos de laboratorio.

Método del picnómetro.

Para determinar el peso específico mediante el método del picnómetro se empleó la siguiente fórmula:

$$\gamma_e = \frac{(P2 - P1)}{(P3 - P1) - (P4 - P2)}; (gr/cm^3)$$

Donde:

γ_e = Peso específico.

P1 = Peso del picnómetro vacío.

P2 = P1 + peso de la muestra.

P3 = P1 + agua.

P4 = P2 + agua.

Se realizó tres veces el ensayo por muestra, con el fin de hacer una media con los tres resultados finales (Tabla 26).

Tabla 26: Cálculo del peso específico

Ensayo 1	$\gamma_e = \frac{(P2 - P1)}{(P3 - P1) - (P4 - P2)}$ $\gamma_e = \frac{(14,31 - 13,16)}{(23,47 - 13,16) - (24,17 - 14,31)}$ $\gamma_e = 2,66 \text{ gr/cm}^3$
P1 = 13,16	
P2 = 14,31	
P3 = 23,47	
P4 = 24,17	
Ensayo 2	$\gamma_e = \frac{(P2 - P1)}{(P3 - P1) - (P4 - P2)}$ $\gamma_e = \frac{(14,73 - 13,16)}{(23,47 - 13,16) - (24,48 - 14,73)}$ $\gamma_e = 2,80 \text{ gr/cm}^3$
P1 = 13,16	
P2 = 14,73	
P3 = 23,47	
P4 = 24,48	
Ensayo 3	$\gamma_e = \frac{(P2 - P1)}{(P3 - P1) - (P4 - P2)}$ $\gamma_e = \frac{(14,19 - 13,16)}{(23,47 - 13,16) - (24,11 - 14,19)}$ $\gamma_e = 2,64 \text{ gr/cm}^3$
P1 = 13,16	
P2 = 14,19	
P3 = 23,47	
P4 = 24,11	

Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Material más fino que pasa el tamiz #200 por lavado.

La cantidad de material que pasa el tamiz #200 por lavado se calcula con la siguiente fórmula:

$$A = \left(\frac{B - C}{B} \right) \times 100$$

Donde:

A = porcentaje de material más fino que pasa el tamiz #200 mediante lavado.

B = Peso de la muestra antes del lavado.

C = Peso de la muestra después del lavado.

Tabla 27: Cálculo del porcentaje de material pasante el tamiz #200 por lavado.

Cañicapa_M1	
B = 300,03 gr	$A = \left(\frac{B - C}{B} \right) \times 100$ $A = \left(\frac{300,03 \text{ gr} - 223,98 \text{ gr}}{300,03 \text{ gr}} \right) \times 100$ $A = 25,35\%$
C = 223,98	

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Resistencia a la compresión.

Según la NTE INEN1 501, se determinará el índice de actividad puzolánica mediante la ecuación:

$$f'c = \frac{P}{A}; (Mpa)$$

Donde:

f'c = Resistencia a la compresión en MPa

P = Carga total máxima de la falla, en N

A = Área de la probeta a ser ensayada, en mm²

Tabla 28: Cálculo de la resistencia a la compresión

Cañicapa_M1	
P = 40,6 KN	$f'c = \frac{P}{A}$ $f'c = \frac{40,6 \text{ KN}}{20,70 \text{ mm}^2} * \frac{1000 \text{ mm}^2}{100 \text{ KN}}$ $f'c = 19,62 \text{ Mpa}$
A = 20,70 mm ²	

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Índice de actividad puzolánica.

Según la NTE INEN1 501, se determinará el índice de actividad puzolánica mediante la ecuación:

$$I_p = \frac{A}{B} \times 100; \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

Donde:

I_p = Índice de actividad puzolánica

A = promedio de la resistencia a la compresión de morteros de ensayo; (Mpa).

B = promedios de la resistencia a la compresión de morteros de control; (Mpa).

Tabla 29: Cálculo del índice de actividad puzolánica

Cañicapa_M1	
A = 25,63	$I_p = \frac{A}{B} \times 100$
B = 21,05	$I_p = \frac{25,63}{21,05} \times 100$ $I_p = 121,76\%$

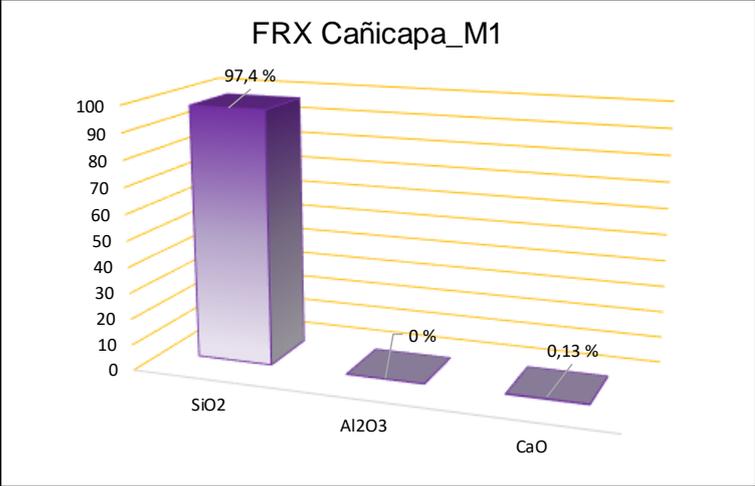
Fuente: Autor

Elaboración: Autor

ANEXO III. Resultados de ensayos de laboratorio.

- a. Fluorescencia de rayos X (FRX).
- b. Mineralogía de lámina delgada.
- c. Método del picnómetro.
- d. Granulometría por el método del hidrómetro.
- e. Granulometría por tamizado y módulo de finura.
- f. Resistencia a la compresión. Índice de actividad puzolánica.
- g. Resistencia a la compresión. Adición puzolánica

Anexo III.a Fluorescencia de rayos X (FRX).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja																		
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGÍA																			
ANEXO III.a.1 FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)																			
SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón DIRECCIÓN: San Cayetano																			
Institución: UTPL Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.	ENSAYO: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Método</td> <td>Meaning Light Element</td> </tr> <tr> <td>Realizado:</td> <td>Karla Daniela Malla Calderón</td> </tr> </table>	Método	Meaning Light Element	Realizado:	Karla Daniela Malla Calderón														
Método	Meaning Light Element																		
Realizado:	Karla Daniela Malla Calderón																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Datos de la muestra:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Análisis #</td> <td style="text-align: center;">37</td> </tr> <tr> <td>Sector</td> <td style="text-align: center;">San Pablo de Tenta</td> </tr> <tr> <td>Código</td> <td style="text-align: center;">KM1</td> </tr> <tr> <td>Método</td> <td style="text-align: center;">Meaning Light Element</td> </tr> </tbody> </table>	Datos de la muestra:		Análisis #	37	Sector	San Pablo de Tenta	Código	KM1	Método	Meaning Light Element	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <table border="1" style="width: 20%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ELEMENTO</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SiO₂</td> <td style="text-align: center;">97,4</td> </tr> <tr> <td>Al₂O₃</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>CaO</td> <td style="text-align: center;">0,13</td> </tr> </tbody> </table> <div style="width: 80%;">  </div> </div>	ELEMENTO	%	SiO ₂	97,4	Al ₂ O ₃	0	CaO	0,13
Datos de la muestra:																			
Análisis #	37																		
Sector	San Pablo de Tenta																		
Código	KM1																		
Método	Meaning Light Element																		
ELEMENTO	%																		
SiO ₂	97,4																		
Al ₂ O ₃	0																		
CaO	0,13																		
Ing. Juan Carlos Quintuña Espín Responsable del laboratorio minería y metalurgia	Karla Daniela Malla Calderón Profesional en formación																		



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGÍA

ANEXO III.a.2
FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

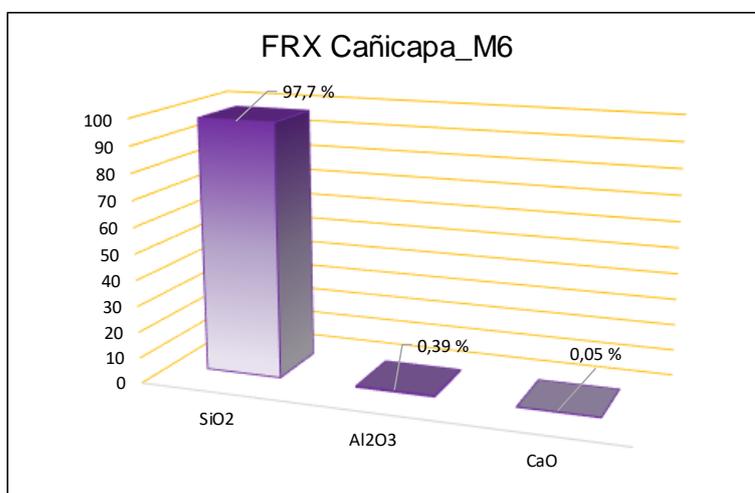
ENSAYO:

Método: Meaning Light Element

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

Datos de la muestra:	
Análisis #	41
Sector	San Pablo de Tenta
Código	KM6
Método	Meaning Light Element

ELEMENTO	%
SiO ₂	97,7
Al ₂ O ₃	0,39
CaO	0,05



Ing. Juan Carlos Quintuña Espín
Responsable del laboratorio
minería y metalurgia

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGÍA

ANEXO III.a.3
FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

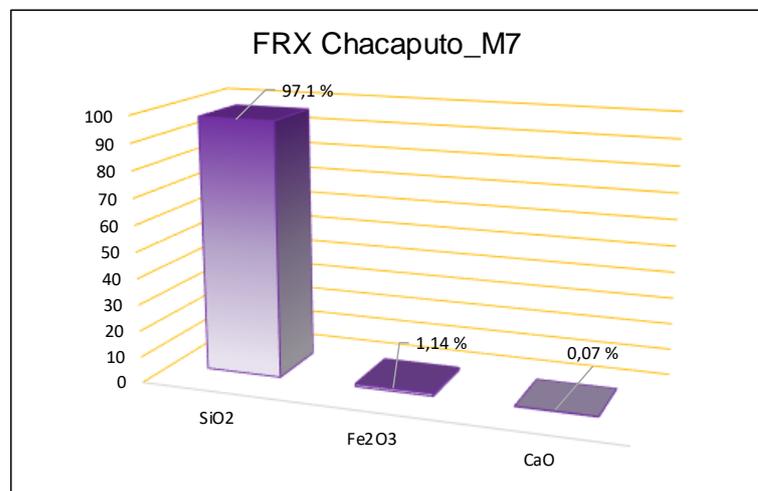
ENSAYO:

Método: Meaning Light Element

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

Datos de la muestra:	
Análisis #	44
Sector	El Paraiso de Celen
Código	KM7
Método	Meaning Light Element

ELEMENTO	%
SiO ₂	97,1
Fe ₂ O ₃	1,14
CaO	0,07



Ing. Juan Carlos Quintuña Espín
Responsable del laboratorio
minería y metalurgia

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGÍA

ANEXO III.a.4
FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

ENSAYO:

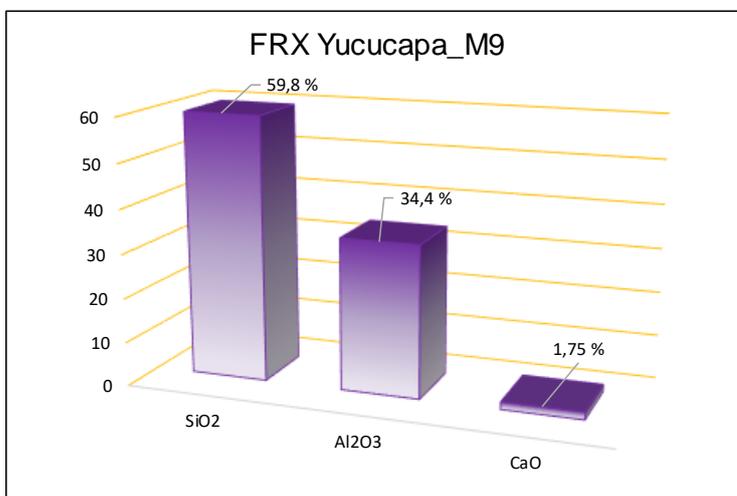
Método: Meaning Light Element

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

Datos de la muestra:

Análisis #	66
Sector	Saraguro
Código	KM9
Método	Meaning Light Element

ELEMENTO	%
SiO ₂	59,8
Al ₂ O ₃	34,4
CaO	1,75



Ing. Juan Carlos Quintuña Espín
Responsable del laboratorio
minería y metalurgia

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGÍA

ANEXO III.a.5
FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

ENSAYO:

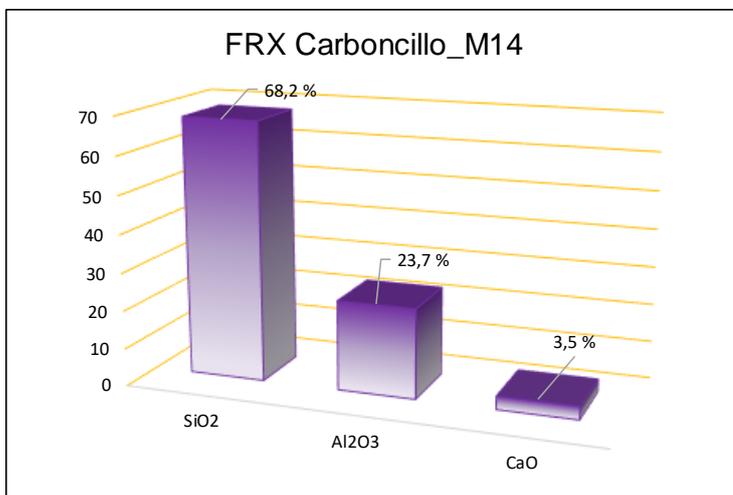
Método Meaning Light Element

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

Datos de la muestra:

Análisis #	72
Sector	Urdaneta
Código	KM14
Método	Meaning Light Element

ELEMENTO	%
SiO ₂	68,2
Al ₂ O ₃	23,7
CaO	3,5



Ing. Juan Carlos Quintuña Espín
Responsable del laboratorio
minería y metalurgia

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación

ANEXO III.b Mineralogía de lámina delgada.

 UTPL	DGMIC LABORATORIO DE MINERALOGÍA Y PETROGRAFÍA MICROSCÓPICA IDENFICACIÓN ROCAS ÍGNEAS CON LÁMINA DELGADA			
INTÉRPRETE:	Karla Daniela Malla Calderón			
Código de muestra:	2a	Fecha	23 NOV 2016	
Microscopio usado:	Olympus bhsn 202443			
Análisis adicionales:	DRX; FRX			
ORIGEN DE LA MUESTRA				
Ubicación: Sector, Cañicapa; Parroquia, San Pablo de Tenta; Cantón, Saraguro; Provincia, Loja.				
Coordenadas (WGS-1984)	X: 690598	Y: 96060832	Z: 2580	
Formación geológica: ARCO VOLCANICO SARAGURO				
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA				
Roca masiva, textura amigdaloides, roca de color gris con pequeñas pigmentaciones rojizas, presenta cuarzo amorfo (matriz de la roca), hematita (pigmentaciones rojizas).				
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA				
Tipo de roca: Ignea-piroclástica				
Textura: Afanítica de grano fino				
Estructuras: Crecimiento de cristales de cuarzo cerca de los poros de la roca				
Alteración: Hematita se altera a limonita en la roca.				
Minerales primarios:	Cuarzo: 95-98%			
Minerales secundarios:	Limonitas: 1%			
Minerales accesorios:	Hematita: 1-2%			
	Zircón: 1-2%			
Minerales opacos:	No presenta			
		TOTAL: No presenta		
Cantidad de minerales oscuros:	Hololeucocrático 0-10%	X	Leucocrático 10-35%	
Mesocrático 35-65%	Melanocrático 65-90%		Holomelanocrático 90-100%	
Nombre de la roca: TOBA SILICEA				

Ing. David Ricardo González Burneo
Responsable del laboratorio de
mineralogía y petrografía.

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación.

 UTPL	DGMIC LABORATORIO DE MINERALOGÍA Y PETROGRAFÍA MICROSCÓPICA IDENFICACIÓN ROCAS ÍGNEAS CON LÁMINA DELGADA		
INTÉRPRETE	Karla Daniela Malla Calderón		
Código de muestra	10	Fecha	23 NOV 2016
Microscopio usado:	Olympus bhm 202443		
Análisis adicionales:	DRX; FRX		
ORIGEN DE LA MUESTRA			
Ubicación: SECTOR Yucucapa, PARROQUIA, CANTON SARAGURO, PROVINCIA LOJA.			
Coordenadas (WGS-1984)	X: 693914	Y: 9599101	Z: 2656
Formación geológica: ARCO VOLCANICO SARAGURO			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA			
Roca masiva, textura porfídica y vesicular, roca de color grisáceo, presenta plagioclasas de color blanquesino y de forma rectangulares, y oquedades rombohédricas de cuarzo cristalizado y pequeños granos de biotita			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
Tipo de roca: Ignea-piroclastica			
Textura: volcánicas-lávicas			
Estructuras: crecimiento de cristales de cuarzo cristalizado en oquedades de la roca y crecimiento de plagioclasas en vesículas de la roca, matriz feldespatos alcalinos.			
Alteración: Presenta alteración en las plagioclasas			
Minerales primarios:	Cuarzo: 40-45%	Plagioclasas: 25-30%	
	Feldespato alcalino: 20-25%	Moscovita: 5%	
Minerales secundarios:	Biotita: 5-10%		
Minerales accesorios:	No presenta		
Minerales opacos:	No presenta		
Cantidad de minerales oscuros:	Hololeucocrático 0-10%	X	Leucocrático 10-35%
	Mesocrático 35-65%		Holomelanocrático 90-100%
	Melanocrático 65-90%		
Nombre de la roca: DACITA			

Ing. David Ricardo González Burneo
Responsable del laboratorio de
mineralogía y petrografía.

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación.

Anexo III.c Método del picnómetro.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja																																				
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGÍA																																					
ANEXO III.c.1 PESO ESPECÍFICO																																					
SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón DIRECCIÓN: San Cayetano																																					
Institución: UTPL Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro. Sector: Cañicapa	ENSAYO: Realizado: Karla Daniela Malla Calderón																																				
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">PESO ESPECÍFICO</th> </tr> <tr> <th>M1</th> <th>$W_1 = (\text{Peso picnometro vacío})$</th> <th>$W_2 = (W_1 + W_{\text{muestra}})$</th> <th>$W_3 = (W_1 + W_{\text{agua}})$</th> <th>$W_3 = (W_2 + W_{\text{agua}})$</th> <th>Peso específico (gr/cm^3)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ensayo 1</td> <td>13,16</td> <td>14,31</td> <td>23,47</td> <td>24,17</td> <td>2,556</td> </tr> <tr> <td>Ensayo 2</td> <td>13,16</td> <td>14,73</td> <td>23,47</td> <td>24,48</td> <td>2,804</td> </tr> <tr> <td>Ensayo 3</td> <td>13,16</td> <td>14,19</td> <td>23,47</td> <td>24,11</td> <td>2,641</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: right;">Prom:</td> <td>2,667</td> </tr> </tbody> </table>		PESO ESPECÍFICO						M1	$W_1 = (\text{Peso picnometro vacío})$	$W_2 = (W_1 + W_{\text{muestra}})$	$W_3 = (W_1 + W_{\text{agua}})$	$W_3 = (W_2 + W_{\text{agua}})$	Peso específico (gr/cm^3)	Ensayo 1	13,16	14,31	23,47	24,17	2,556	Ensayo 2	13,16	14,73	23,47	24,48	2,804	Ensayo 3	13,16	14,19	23,47	24,11	2,641	Prom:					2,667
PESO ESPECÍFICO																																					
M1	$W_1 = (\text{Peso picnometro vacío})$	$W_2 = (W_1 + W_{\text{muestra}})$	$W_3 = (W_1 + W_{\text{agua}})$	$W_3 = (W_2 + W_{\text{agua}})$	Peso específico (gr/cm^3)																																
Ensayo 1	13,16	14,31	23,47	24,17	2,556																																
Ensayo 2	13,16	14,73	23,47	24,48	2,804																																
Ensayo 3	13,16	14,19	23,47	24,11	2,641																																
Prom:					2,667																																
Ing. Juan Carlos Quintuña Espín Responsable del laboratorio minería y metalurgia	Karla Daniela Malla Calderón Profesional en formación																																				



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

ANEXO III.c.2
PESO ESPECÍFICO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

Sector: Cañicapa

ENSAYO:

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

PESO ESPECÍFICO					
M6	$W_1 = (\text{Peso picnometro vacío})$	$W_2 = (W_1 + W_{\text{muestra}})$	$W_3 = (W_1 + W_{\text{agua}})$	$W_3 = (W_2 + W_{\text{agua}})$	Peso específico (gr/cm^3)
Ensayo 1	13,16	14,58	23,47	24,36	2,679
Ensayo 2	13,16	14,67	23,47	24,39	2,559
Ensayo 3	13,16	14,37	23,47	24,23	2,689
				Prom:	2,642

Ing. Juan Carlos Quintuña Espín
Responsable del laboratorio
minería y metalurgia

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGÍA

ANEXO III.c.3
PESO ESPECÍFICO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.
Sector: Chacaputo

ENSAYO:
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

PESO ESPECÍFICO					
M7	$W_1 = (\text{Peso picnometro vacío})$	$W_2 = (W_1 + W_{\text{muestra}})$	$W_3 = (W_1 + W_{\text{agua}})$	$W_3 = (W_2 + W_{\text{agua}})$	Peso específico (gr/cm^3)
Ensayo 1	13,16	14,89	23,47	24,55	2,662
Ensayo 2	13,16	14,48	23,47	24,27	2,538
Ensayo 3	13,16	14,80	23,47	24,495	2,667
				Prom:	2,622

Ing. Juan Carlos Quintuña Espín
**Responsable del laboratorio
minería y metalurgia**

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL

ANEXO III.c.4
PESO ESPECÍFICO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

Sector: Yucucapa

ENSAYO:

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

PESO ESPECÍFICO					
M9	$W_1 = (\text{Peso picnometro vacío})$	$W_2 = (W_1 + W_{\text{muestra}})$	$W_3 = (W_1 + W_{\text{agua}})$	$W_3 = (W_2 + W_{\text{agua}})$	Peso específico (gr/cm^3)
Ensayo 1	13,16	14,07	23,47	24,01	2,459
Ensayo 2	13,16	14,73	23,47	24,39	2,415
Ensayo 3	13,16	13,84	23,47	23,89	2,615
				Prom:	2,497

Ing. Juan Carlos Quintuña Espín
Responsable del laboratorio
minería y metalurgia

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGÍA

ANEXO III.c.5
PESO ESPECÍFICO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

Sector: Carboncillo

ENSAYO:

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

PESO ESPECÍFICO					
M14	$W_1 = (\text{Peso picnometro vacío})$	$W_2 = (W_1 + W_{\text{muestra}})$	$W_3 = (W_1 + W_{\text{agua}})$	$W_3 = (W_2 + W_{\text{agua}})$	Peso específico (gr/cm^3)
Ensayo 1	13,16	14,11	23,47	24,03	2,436
Ensayo 2	13,16	14,55	23,47	24,35	2,725
Ensayo 3	13,16	14,48	23,47	24,25	2,444
				Prom:	2,535

Ing. Juan Carlos Quintuña Espín
Responsable del laboratorio
minería y metalurgia

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGÍA

ANEXO III.c.6
PESO ESPECÍFICO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

Observación: Arena de Malacatos

ENSAYO:

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

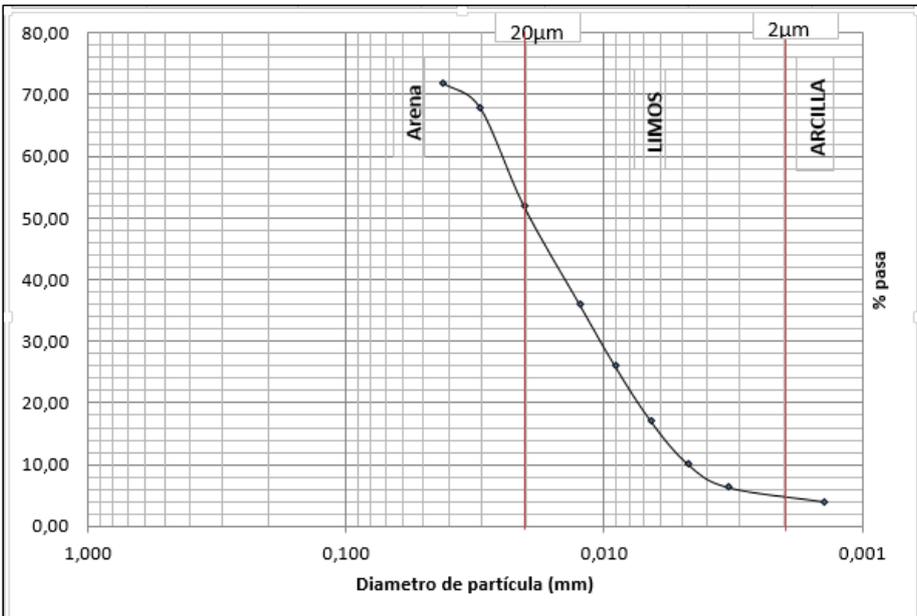
PESO ESPECÍFICO					
AM	$W_1 = (\text{Peso picnometro vacío})$	$W_2 = (W_1 + W_{\text{muestra}})$	$W_3 = (W_1 + W_{\text{agua}})$	$W_3 = (W_2 + W_{\text{agua}})$	Peso específico (gr/cm^3)
Ensayo 1	13,16	14,15	23,47	24,09	2,676
Ensayo 2	13,16	14,83	23,47	24,49	2,569
Ensayo 3	13,16	14,38	23,47	24,21	2,542
				Prom:	2,596

Ing. Juan Carlos Quintuña Espín
Responsable del laboratorio
minería y metalurgia

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación

Anexo III.d Granulometría por el método del hidrómetro.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja							
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES								
ANEXO III.d.1 ENSAYO GRANULOMETRÍA MÉTODO DEL HIDRÓMETRO								
SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón DIRECCIÓN: San Cayetano								
Institución: UTP Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro. Sector: Cañicapa_M1	ENSAYO: Norma: ASTM D 422 Fecha: 24/8/2016 Realizado: Karla Daniela Malla Calderón							
Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	D (mm)
1	41	19,60	-0,12	36,03	71,77	42,00	9,40	0,0418
2	39	19,60	-0,12	34,03	67,79	40,00	9,70	0,0300
5	31	19,60	-0,12	26,03	51,85	32,00	11,10	0,0203
15	23	19,70	-0,09	18,06	35,98	24,00	12,40	0,0124
30	18	19,70	-0,09	13,06	26,02	19,00	13,20	0,0090
60	13,5	19,70	-0,09	8,56	17,05	14,50	13,90	0,0066
120	10	19,80	-0,06	5,09	10,14	11,00	14,50	0,0047
250	8	20,10	0,03	3,18	6,33	9,00	14,80	0,0033
1440	7	19,50	-0,15	2,00	3,98	8,00	15,00	0,0014



RESULTADO		
%Arcilla	%Limo	%Arena
4,9	46,95	48,15



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.d.2
ENSAYO GRANULOMETRÍA MÉTODO DEL HIDRÓMETRO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

Sector: Cañicapa_M6

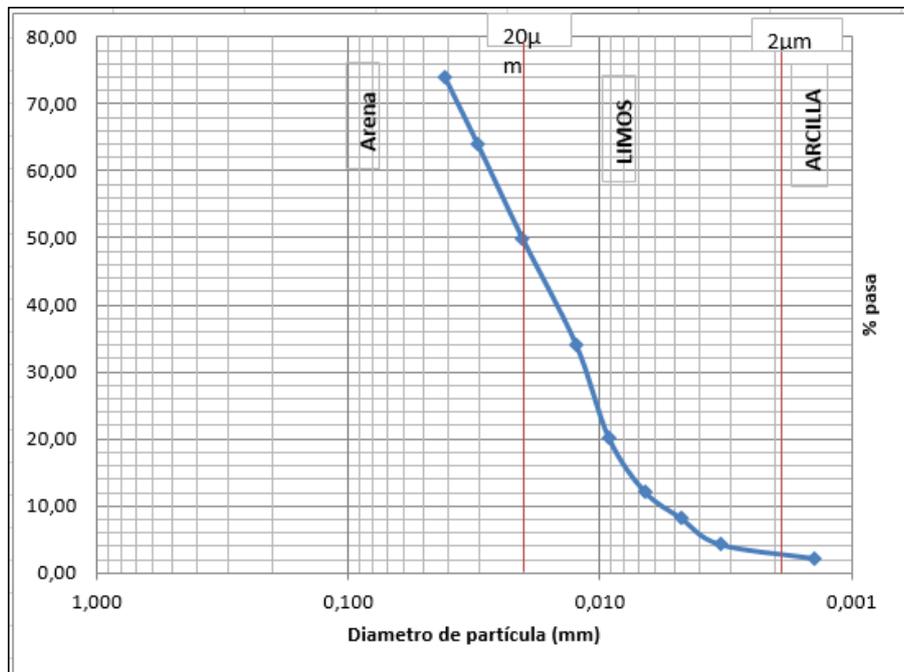
ENSAYO:

Norma: ASTM D 422

Fecha: 24/8/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	D (mm)
1	42	19,9	-0,03	37,12	73,869	43	9,2	0,0411
2	37	19,9	-0,03	32,12	63,919	38	10,1	0,0305
5	30	19,9	-0,03	25,12	49,989	31	11,2	0,0203
15	22	19,9	-0,03	17,12	34,069	23	12,5	0,0124
30	15	19,9	-0,03	10,12	20,139	16	13,7	0,0092
60	11	19,9	-0,03	6,12	12,179	12	14,3	0,0066
120	9	19,9	-0,03	4,12	8,199	10	14,7	0,0047
250	7	20	0	2,15	4,279	8	15	0,0033
1440	6	19,8	-0,06	1,09	2,169	7	15,2	0,0014



RESULTADO		
%Arcilla	%Limo	%Arena
3	47	50



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.d.3
ENSAYO GRANULOMETRÍA MÉTODO DEL HIDRÓMETRO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

Sector: Chacaputo_M7

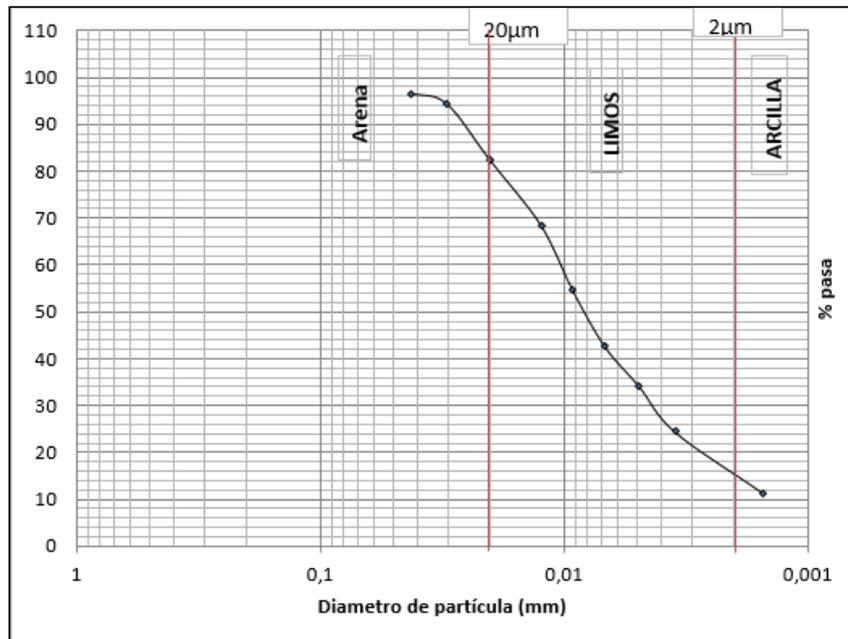
ENSAYO:

Norma: ASTM D 422

Fecha: 24/8/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	D (mm)
1	41	19,6	-0,12	36,03	75,771	42	9,4	0,0449
2	36	19,6	-0,12	31,03	65,256	37	10,2	0,0331
5	30	19,6	-0,12	25,03	52,638	31	11,2	0,0219
15	21	19,6	-0,12	16,03	33,711	22	12,7	0,0135
30	16	19,6	-0,12	11,03	23,196	17	13,5	0,0098
60	12	19,7	-0,09	7,06	14,847	13	14,2	0,0071
120	10	20	0	5,15	10,830	11	14,5	0,0051
250	8	20,2	0,06	3,21	6,751	9	14,8	0,0035
1440	7	19,7	-0,09	2,06	4,33218	8	15	0,0015



RESULTADO		
%Arcilla	%Limo	%Arena
15	37,64	47,36



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.d.4
ENSAYO GRANULOMETRÍA MÉTODO DEL HIDRÓMETRO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

Sector: Yucucapa_M9

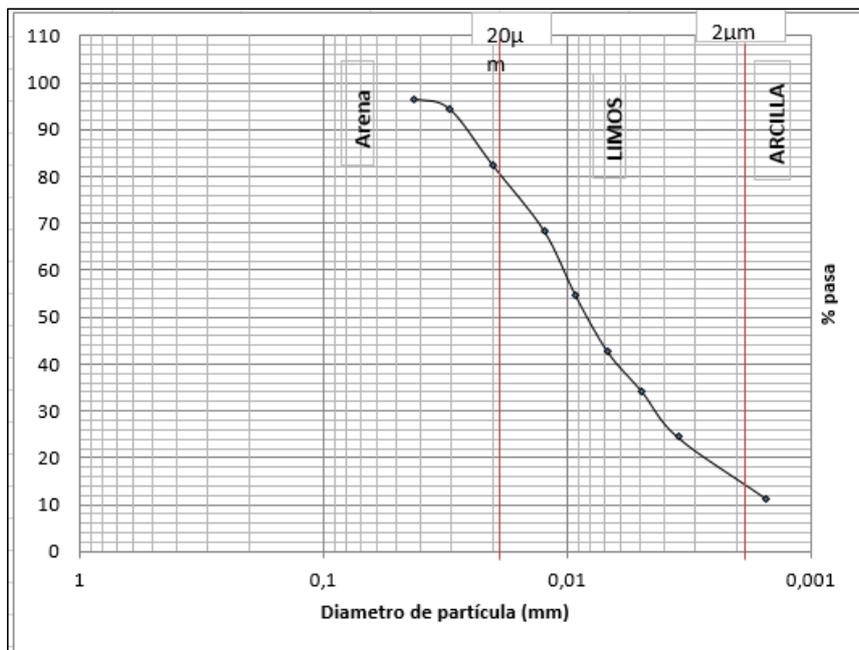
ENSAYO:

Norma: ASTM D 422

Fecha: 24/8/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	D (mm)
1	48	20	0	43,15	90,615	49	8,3	0,0419
2	45	20	0	40,15	84,315	46	8,8	0,0305
5	40	20	0	35,15	73,815	41	9,6	0,0202
15	32	20	0	27,15	57,015	33	10,9	0,0124
30	28	20	0	23,15	48,615	29	11,5	0,0090
60	24	20,1	0,03	19,18	40,278	25	12,2	0,0066
120	21	20,2	0,06	16,21	34,041	22	12,7	0,0047
250	18	20,4	0,12	13,27	27,867	19	13,2	0,0033
1440	14	19,9	-0,03	9,12	19,152	15	13,8	0,0014



RESULTADO		
%Arcilla	%Limo	%Arena
15,5	58,32	26,18



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.d.5
ENSAYO GRANULOMETRÍA MÉTODO DEL HIDRÓMETRO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

Sector: Carboncillo_M14

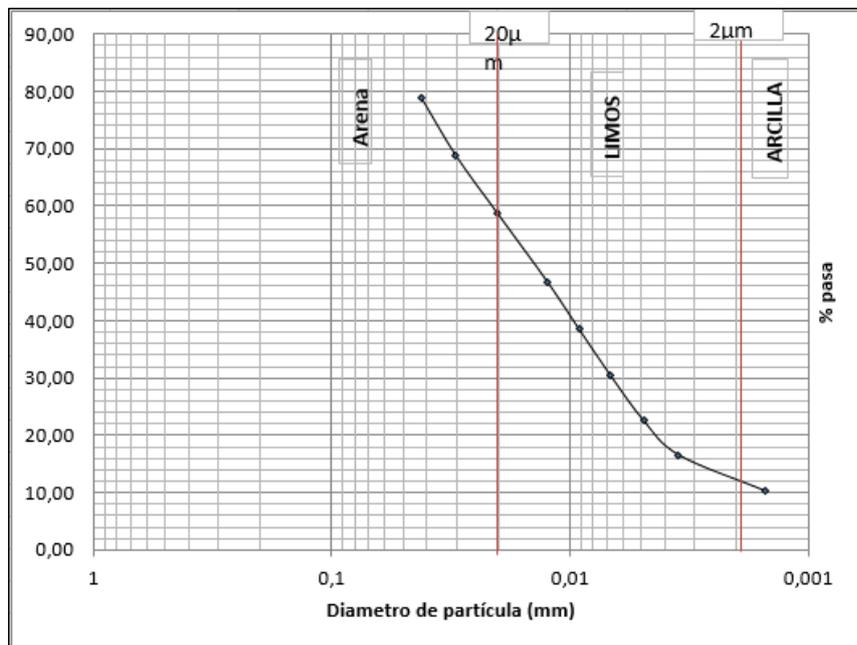
ENSAYO:

Norma: ASTM D 422

Fecha: 24/8/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

Tiempo (min)	Lectura del Hidrómetro, R'	Temperatura	Ct	Rc	% que pasa	Rcl=R	L (cm)	D (mm)
1	44	19,7	-0,09	39,06	78,901	45	8,9	0,04108
2	39	19,7	-0,09	34,06	68,801	40	9,7	0,03033
5	34	19,7	-0,09	29,06	58,701	35	10,6	0,02005
15	28	19,7	-0,09	23,06	46,581	29	11,5	0,01206
30	24	19,7	-0,09	19,06	38,501	25	12,2	0,00878
60	20	19,7	-0,09	15,06	30,421	21	12,9	0,00639
120	16	20	0	11,15	22,523	17	13,5	0,00458
250	13	20,2	0,06	8,21	16,584	14	14	0,00323
1440	10	19,9	-0,03	5,12	10,3424	11	14,5	0,00137



RESULTADO		
%Arcilla	%Limo	%Arena
12,5	46,2	41,3

Anexo III.e Granulometría por tamizado y módulo de finura.



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO III.e.1
ENSAYO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

Sector: Cañicapa_M1

ENSAYO:

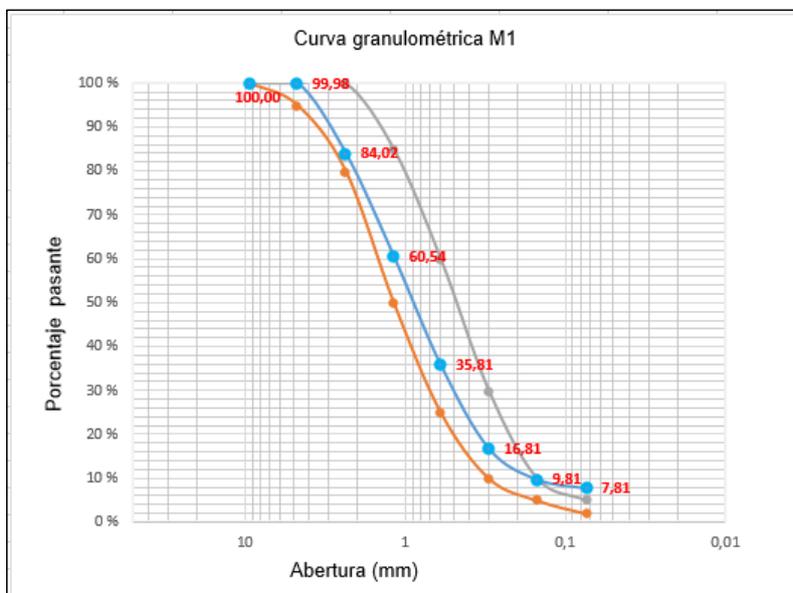
Norma: ASTM D 422

Fecha: 24/8/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

CAÑICAPA_M1

# de tamiz	abertura (mm)	Peso del tamiz	Peso tamiz + muestra	Peso retenido	% retenido	% acumulado	% pasante	Modulo de finura
3/8	9,5	510,90	510,90	0,00	0,00	0,00	100,00	
4	4,75	507,06	516,06	9,00	1,50	1,50	99,98	2,9
8	2,36	474,06	560,91	86,85	14,48	15,98	84,02	
16	1,18	455,14	595,97	140,83	23,48	39,46	60,54	
30	0,6	381,69	530,02	148,33	24,73	64,19	35,81	
50	0,3	358,49	472,45	113,96	19,00	83,19	16,81	
100	0,15	308,27	350,26	41,99	7,00	90,19	9,81	
200	0,074	281,29	293,29	12,00	2,00	92,19	7,81	
fondo	0	379,00	425,84	46,84	7,81	100,00		
				599,79	100,00			



Ing. Diego Mata
Responsable del laboratorio de suelos

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO III.e.2
ENSAYO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

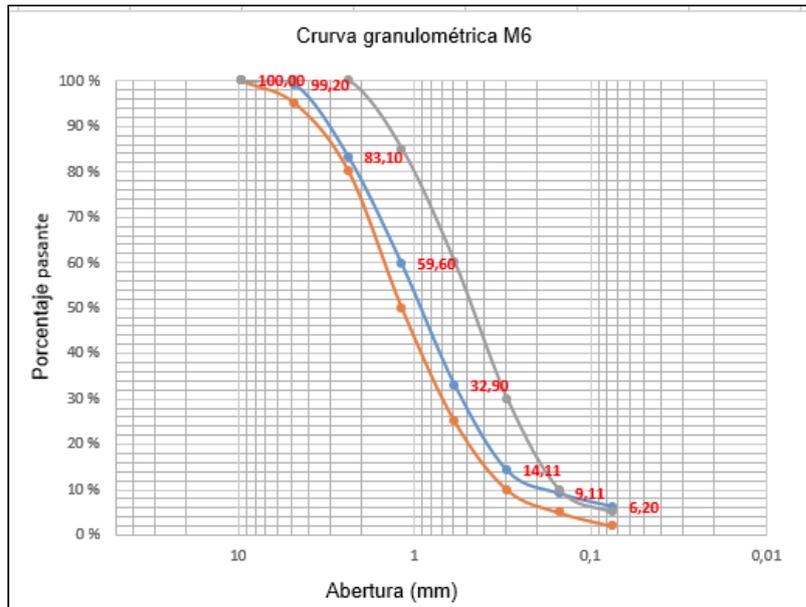
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.
Sector: Cañicapa_M6

ENSAYO:
Norma: ASTM D 422
Fecha: 24/8/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

CAÑICAPA M6

# de tamiz	apertura (mm)	Peso del tamiz	Peso tamiz + muestra	Peso retenido	%retenido	%acumulado	%pasante	Modulo de finura
3/8	9,5	510,9	510,9	0	0	0	100,00	3,0
4	4,75	507,06	512,25	5,19	0,80	0,80	99,20	
8	2,36	474,09	578,55	104,46	16,10	16,90	83,10	
16	1,18	445,17	597,65	152,48	23,50	40,40	59,60	
30	0,59	381,72	554,96	173,24	26,70	67,10	32,90	
50	0,297	358,44	480,36	121,92	18,79	85,89	14,11	
100	0,15	308,24	340,68	32,44	5,00	90,89	9,11	
200	0,074	291,4	310,28	18,88	2,91	93,80	6,20	
fondo		379,03	419,25	40,22	6,20	100,00		
				648,83	100,00			



Ing. Diego Mata
Responsable del laboratorio
de suelos

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO III.e.3
ENSAYO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

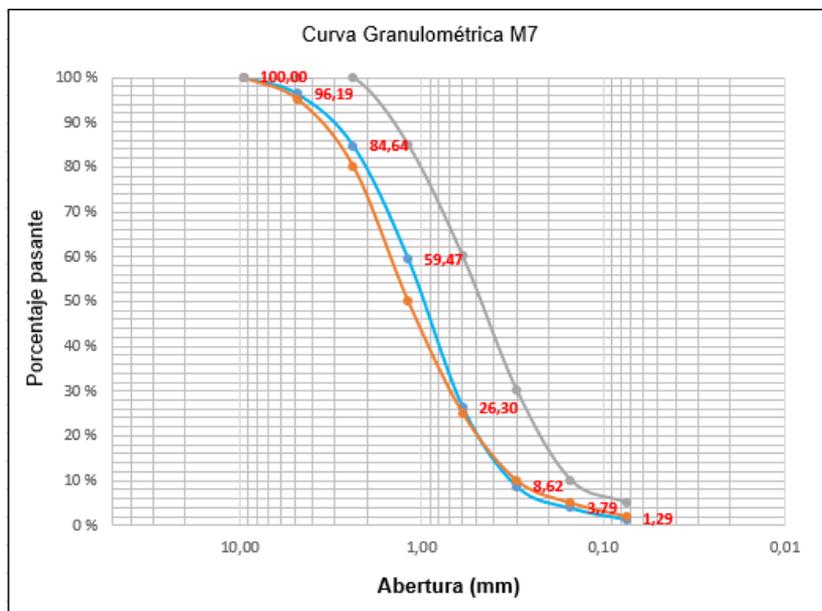
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.
Sector: Chacaputo_M7

ENSAYO:
Norma: ASTM D 422
Fecha: 24/8/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

CHACAPUTO_M7

# de tamiz	abertura (mm)	Peso del tamiz	Peso tamiz + muestra	Peso retenido	% retenido	% acumulado	% pasante	Modulo de finura
3/8	9,50	527,09	527,09	0,00	0,00	0,00	100,00	
4	4,75	507,06	532,28	25,22	3,81	3,81	96,19	3,21
8	2,36	474,14	550,58	76,44	11,55	15,36	84,64	
16	1,18	445,05	611,64	166,59	25,17	40,53	59,47	
30	0,59	381,62	601,16	219,54	33,17	73,70	26,30	
50	0,30	358,48	475,50	117,02	17,68	91,38	8,62	
100	0,15	308,18	340,15	31,97	4,83	96,21	3,79	
200	0,07	291,32	307,86	16,54	2,50	98,71	1,29	
fondo		379,06	387,60	8,54	1,29	100,00		
				661,85	100,00			



Ing. Diego Mata
Responsable del laboratorio
de suelos

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO III.e.4

ENSAYO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

Sector: Yucucapa_M9

ENSAYO:

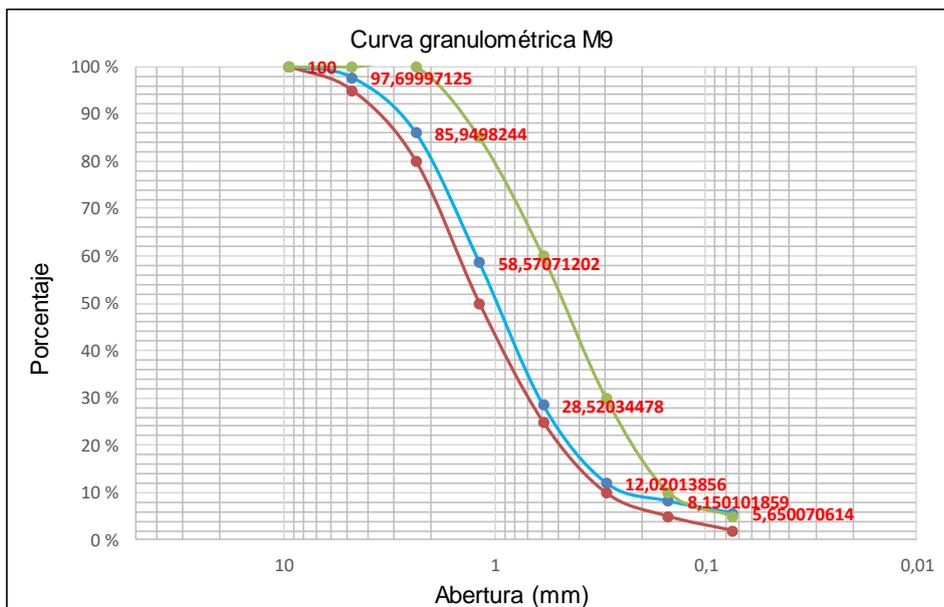
Norma: ASTM D 422

Fecha: 24/8/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

YUCUCAPA_M9

# de tamiz	abertura (mm)	Peso del tamiz	Peso tamiz + muestra	Peso retenido	% retenido	% acumulado	% pasante	Modulo de finura
3/8	9,5	527,09	527,09	0	0	0	100,00	3,09
4	4,75	507,06	520,8623	13,8023	2,30	2,30	97,70	
8	2,36	474,1	544,61175	70,51175	11,75	14,05	85,95	
16	1,18	445,06	609,36	164,3	27,38	41,43	58,57	
30	0,59	381,77	562,1	180,33	30,05	71,48	28,52	
50	0,297	358,46	457,4765	99,0165	16,50	87,98	12,02	
100	0,15	308,2	331,4238	23,2238	3,87	91,85	8,15	
200	0,074	291,42	306,4225	15,0025	2,50	94,35	5,65	
fondo		378,99	412,89565	33,90565	5,65	100,00		
				600,0925	100,00			



Ing. Diego Mata
Responsable del laboratorio de suelos

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO III.e.5
ENSAYO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

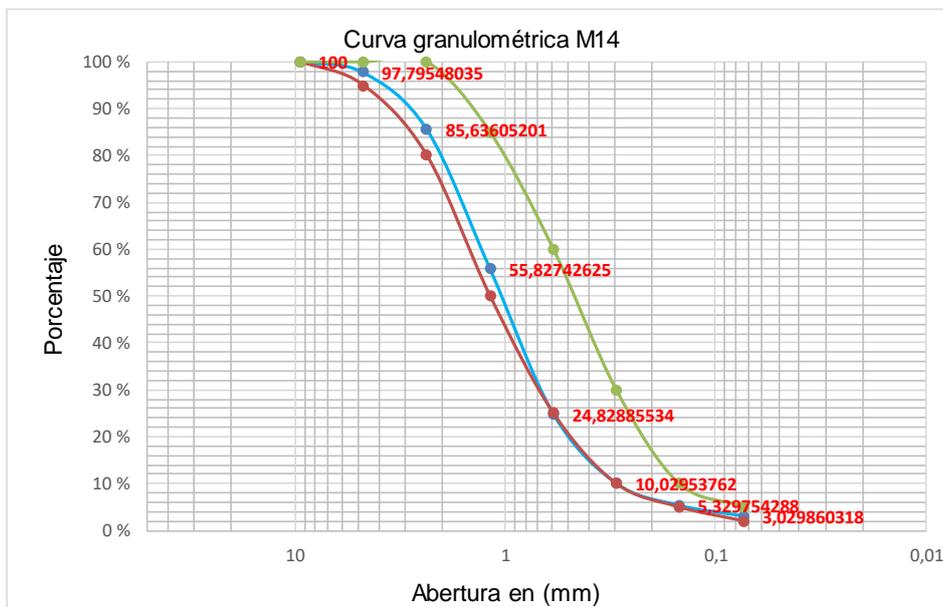
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.
Sector: Carboncillo_M14

ENSAYO:
Norma: ASTM D 422
Fecha: 24/8/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

CARBONCILLO_M14

# de tamiz	abertura (mm)	Peso del tamiz	Peso tamiz + muestra	Peso retenido	% retenido	% acumulado	% pasante	Modulo de finura
3/8	9,5	527,09	527,09	0,00	0	0	100,00	3,21
4	4,75	527,06	541,37	14,31	2,20	2,20	97,80	
8	2,36	474,06	553,00	78,94	12,16	14,36	85,64	
16	1,18	445	638,52	193,52	29,81	44,17	55,83	
30	0,59	381,57	582,81	201,24	31,00	75,17	24,83	
50	0,297	358,44	454,52	96,08	14,80	89,97	10,03	
100	0,15	308,28	338,79	30,51	4,70	94,67	5,33	
200	0,074	291,34	306,27	14,93	2,30	96,97	3,03	
fondo		378,94	398,61	19,67	3,03			
				649,20	100,00	417,52		



Ing. Diego Mata
Responsable del laboratorio

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS

ANEXO III.e.6
ENSAYO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

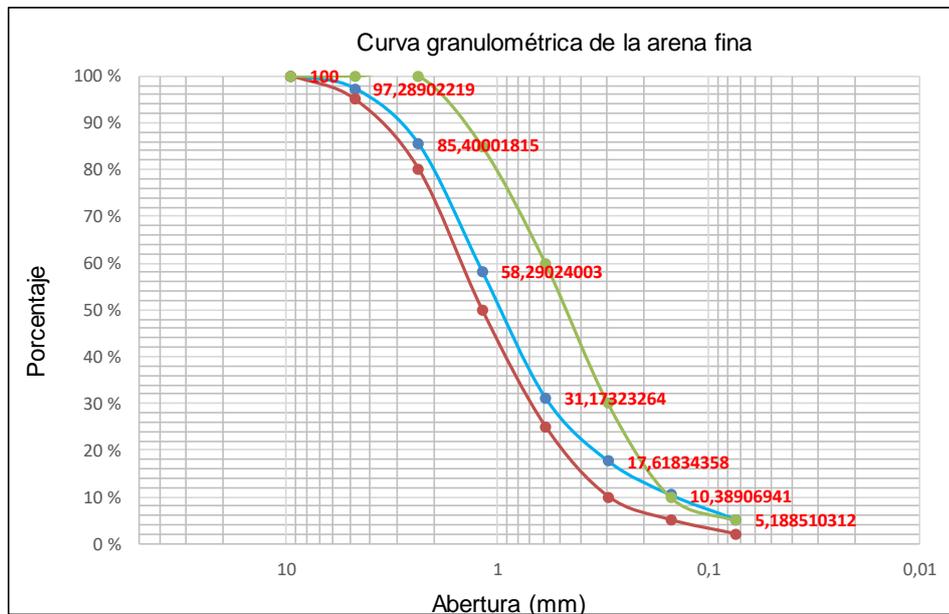
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.
Sector: Arena de Malacatos

ENSAYO:
Norma: ASTM D 422
Fecha: 24/8/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

Arena de Malcatos_AM

# de tamiz	abertura (mm)	Peso del tamiz	Peso tamiz + muestra	Peso retenido	% retenido	% acumulado	% pasante	Modulo de finura
3/8	9,5	510,09	510,09	0	0	0	100,00	3,00
4	4,75	507,06	525,06	18	2,71	2,71	97,29	
8	2,36	474,01	552,949072	78,939072	11,89	14,60	85,40	
16	1,18	422,09	602,09	180	27,11	41,71	58,29	
30	0,59	381,73	561,778	180,048	27,12	68,83	31,17	
50	0,297	358,48	448,48	90	13,55	82,38	17,62	
100	0,15	308,17	356,17	48	7,23	89,61	10,39	
200	0,074	291,33	325,86	34,53	5,20	94,81	5,19	
fondo		379,01	413,46	34,45	5,19	100,00	1	
				663,967072	100,00			



Ing. Diego Mata
Responsable del laboratorio

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación

Anexo III.f Resistencia a la compresión. Índice de actividad puzolánica.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja						
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES								
ANEXO III.f.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA								
SOLICITANTE Karla Daniela Malla Calderón DIRECCIÓN: San Cayetano								
Institución: UTPL Proyecto: Tesis: Caracaterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro						ENSAYO: Norma: ASTM 39 Fecha: 06/12/2016 Realizado: Karla Daniela Malla Calderón		
DATOS DE ENSAYO								
N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Comprobación de la actividad puzolánica, con una dosificación dada en la norma. M1	Cañicapa M1	7	4,64	16,89	29	17,17	25,63
2			7	4,63	16,84	41,2	24,47	
3			7	4,59	16,57	44,4	26,79	
4	Comprobación de la actividad puzolánica, con una dosificación dada en la norma. M6	Cañicapa M6	7	4,61	16,69	43,2	25,88	27,66
5			7	4,57	16,40	45,1	27,50	
6			7	4,53	16,14	44,9	27,82	
7	Comprobación de la actividad puzolánica, con una dosificación dada en la norma. M7	Chacaputo M7	7	4,61	16,67	36,8	22,08	26,60
8			7	4,64	16,89	44,9	26,59	
9			7	4,59	16,57	44,1	26,61	
10	Comprobación de la actividad puzolánica, con una dosificación dada en la norma. M9	Yucucapa M9	7	5,15	20,80	45	21,63	21,66
11			7	5,19	21,13	43,1	20,40	
12			7	5,20	21,26	46,1	21,68	
13	Comprobación de la actividad puzolánica, con una dosificación dada en la norma. M14	Carboncillo M14	7	5,11	20,50	51,7	25,22	25,56
14			7	5,10	20,43	52,9	25,90	
15			7	5,04	19,97	49,5	24,79	
EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK							1Mpa=10kg/cm ²	
MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres Responsable del laboratorio de resistencia de materiales				Karla Daniela Malla Calderón Profesional en formación				



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.f.2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA

SOLICITANTE Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracaterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM 39

Fecha: 06/12/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Mortero de albañilería de cemento, arena y agua	7	4,57	16,43	34	20,70	21,23
2		7	4,71	17,39	38	21,85	
3		7	4,65	16,98	35	20,61	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres

**Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales**

Karla Daniela Malla Calderón

Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.f.3

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM 39

Fecha: 06/12/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Mortero de albañilería de cemento, arena y agua	14	4,65	17,01	38	22,34	22,31
2		14	4,58	16,45	40	24,31	
3		14	4,95	19,24	39	20,27	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
**Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales**

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.f.4
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:
Norma: ASTM 39
Fecha: 06/12/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Mortero de albañilería de cemento, arena y agua	28	4,69	17,30	46,6	26,94	27,50
2		28	4,51	15,99	43,8	27,39	
3		28	4,52	16,05	45,2	28,17	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación

Anexo III.g Resistencia a la compresión. Adición puzolánica

		UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA La Universidad Católica de Loja						
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES								
ANEXO III.g.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA								
SOLICITANTE Karla Daniela Malla Calderón DIRECCIÓN: San Cayetano								
Institución UTPL Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro						ENSAYO: Norma: ASTM C 39 Fecha: 06/10/2016 Realizado: Karla Daniela Malla Calderón		
DATOS DE ENSAYO								
N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 25% de sustitución de cal puzolana por cemento	Chacaputo M7	14	5,11	20,51	20,24	41,5	20,23
2			14	4,61	16,72	20,22	33,8	
3			14	5,11	20,51	18,58	38,1	
4		Chacaputo M7	14	5,21	21,32	11,30	24,1	12,92
5			14	4,60	16,64	14,48	24,1	
6			14	5,08	20,24	11,36	23	
7	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento	Yucucapa M9	14	4,63	16,86	9,13	15,4	8,78
8			14	4,63	16,84	8,43	14,2	
9			Carboncillo M14	14	4,56	16,31	8,95	14,6
10	14			5,16	20,94	11,22	23,5	
11	14			4,87	18,65	8,26	15,4	
EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK							1Mpa=10kg/cm ²	

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.2
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICION PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM 39

Fecha: 07/10/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 25% de sustitución de cal puzolana por cemento	Yucucapa M9	14	4,67	17,10	16,25	27,8	16,25
2			14	5,18	21,05	16,25	34,2	
3			14	4,59	16,57	15,81	26,2	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.3

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICION PUZOLÁNICA

SOLICITANTE Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

ENSAYO:

Norma: ASTM C 39

Fecha: 12/10/2016

Realizad Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 25% de sustitución de cal puzolana por cemento	Carboncillo M14	14	4,59	16,55	19,58	32,4	19,62
2			14	5,06	20,08	19,67	39,5	
3			14	4,60	16,59	15,55	25,8	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.4

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICION PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM 39

Fecha: 13/10/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento (P=30%; C=10%)	Cañicapa M1	14	5,07	20,16	12,70	25,6	13,35
2			14	4,60	16,64	13,58	22,6	
3			14	5,06	20,11	13,77	27,7	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres

**Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales**

Karla Daniela Malla Calderón

Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.5

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICION PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM C 39

Fecha: 14/10/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento (P=30%; C=10%)	Cañicapa M6	14	4,67	17,15	14,28	24,5	14,28
2			14	5,11	20,51	14,43	29,6	
3			14	4,61	16,72	14,12	23,6	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres

Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.6
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM C 39

Fecha: 19/10/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento (P=30%; C=10%)	Chacaputo M7	14	5,07	21,35	14,48	30,9	15,98
2			14	4,60	16,70	17,43	29,1	
3			14	5,06	21,40	14,53	31,1	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.7

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICION PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM C 39

Fecha: 21/10/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento (P=30%; C=10%)	Yucucapa M9	14	5,07	20,70	5,13	10	10,43
2			14	4,60	20,82	5,15	23,6	
3			14	5,06	20,99	5,17	20	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.8

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICIÓN PUZOLÁNICA

SOLICITANTE Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM C 39

Fecha: 22/10/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de	Cañicapa M1	14	5,09	20,37	22,28	45,4	21,80
2	sustitución de cal puzolana por		14	4,64	16,91	20,58	34,8	
3	cemento (P=30%; C=10%)		14	5,18	21,11	21,32	45	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.9
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro.

ENSAYO:

Norma: ASTM C 39

Fecha: 27/10/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento (P=30%; C=10%)	Cañicapa M1	14	4,62	16,76	22,67	38	21,70
2			14	5,15	20,80	20,19	42	
3			14	5,18	21,04	20,72	43,6	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.10
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICION PUZOLÁNICA

SOLICITANTE Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM C 39

Fecha: 29/10/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 25% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Cañicapa M6	14	5,14	20,72	20,46	42,4	20,09
2			14	4,54	16,21	16,84	27,3	
3			14	5,19	21,15	19,72	41,7	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.11

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM C 39

Fecha: 08/11/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 40% de sustitución de cal puzolona, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Cañicapa M6	14	5,14	20,72	17,95	37,2	18,00
2			14	4,66	17,03	17,03	29	
3			14	5,12	20,62	18,04	37,2	
4	Cal, puzolona, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolona por cemento	Chacaputo M7	14	4,69	17,28	23,15	40	21,03
5			14	5,11	20,52	19,98	41	
6			14	4,55	16,28	18,91	30,8	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.12
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:
Norma: ASTM C 39
Fecha: 09/11/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 40% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Chacaputo M7	14	5,10	20,43	23,69	48,4	25,04
2			14	4,60	16,59	23,56	39,1	
3			14	5,08	20,24	26,38	53,4	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio de
resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.13
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución	UTPL	ENSAYO:
Proyecto:	Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro	Norma: ASTM C 39
		Fecha: 10/11/2016
		Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 40% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Yucucapa M9	14	4,55	16,28	16,03	26,1	15,22
2			14	5,08	20,24	13,54	27,4	
3			14	4,61	16,72	14,42	24,1	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio de
resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.14

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICIÓN PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Características y evaluación de puzolona en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM C 39

Fecha: 11/11/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 40% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Yucucapa M9	14	4,52	16,02	15,73	25,2	16,02
2			14	5,23	21,46	16,31	35	
3			14	4,55	16,28	15,17	24,7	
4	Cemento, cal-puzolana al 25% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Carboncillo M14	14	5,13	20,66	48,9	48,9	23,17
5			14	5,06	20,14	32	32	
6			14	5,14	20,72	47	47	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio de
resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.15
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL	ENSAYO:
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro	
Sector: Cañicapa	
Norma: ASTM C 39	
Fecha: 27/09/2016	
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón	

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Carga kN	f'c Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 25% de sustitución de cal puzolana por cemento	Cañicapa M1	14	5,13	20,70	40,6	19,62	19,23
2			14	4,67	17,10	16,8	9,82	
3			14	5,10	20,43	38,5	18,85	
4	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento	Cañicapa M1	14	5,15	16,9	37,17	8,11	13,06
5			14	5,13	21,9	36,62	10,58	
6			14	4,63	26,2	31,63	15,54	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.16
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICION PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución	UTPL	ENSAYO:	
Proyecto:	Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro	Norma:	ASTM C 39
		Fecha:	05/10/2016
		Realizado:	Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Carga kN	f'c Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 25% de sustitución de cal puzolana por cemento	Cañicapa M6	14	5,06	20,14	39,1	19,42	19,52
2			14	5,06	20,14	41,8	20,76	
3			14	5,03	19,87	36,5	18,37	
4	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento	Cañicapa M6	14	5,16	20,88	25,8	12,35	13,14
5			14	5,16	20,88	27,4	13,12	
6			14	5,16	20,88	29,1	13,93	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres

Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón

Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.17
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICIÓN PUZOLÁNICA

SOLICITANTE Karla Daniela Malla Calderón
DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:
Norma: ASTM 39
Fecha: 11/10/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 25% de sustitución de cal puzolana por cemento	Cañicapa M1	28	4,66	17,08	40,9	23,95	24,10
2			28	5,12	20,62	51,1	24,79	
3			28	4,72	17,52	41,3	23,57	
4	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento	Cañicapa M1	28	4,66	17,0798	28,8	16,86	14,88
5			28	5,17	21,01991	27,1	12,89	
6			28	4,64	16,93361	21,5	12,70	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.18

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA

SOLICITANTE Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL
Proyecto: Tesis: Caracaterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM 39

Fecha: 19/10/2016

Realizado: Karala Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 25% de sustitución de cal puzolana por cemento	Cañicapa M6	28	4,57	16,43	27,8	16,25	27,13
2			28	4,65	16,98	34,2	16,25	
3			28	4,57	16,43	26,2	15,81	
4	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento	Cañicapa M6	28	4,58	16,50	16,50	18,06	17,96
5			28	4,64	16,88	16,88	14,45	
6			28	4,57	16,40	16,40	17,86	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.19
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracaterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:
Norma: ASTM 39
Fecha: 20/10/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolona, cemento y arena al 25% de sustitución de cal puzolona por cemento	Chacaputo M7	28	4,60	16,61903	44,5	26,78	25,98
2			28	5,12	20,61556	51,9	25,18	
3			28	4,66	17,031	41,8	24,54	
4	Cal, puzolona, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolona por cemento	Chacaputo M7	28	4,63	16,84	28	16,63	17,19
5			28	5,10	20,40	29,7	14,56	
6			28	4,61	16,67	29,6	17,76	
7	Cal, puzolona, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolona por cemento	Yucucapa M9	28	5,12	20,61556	21,4	10,38	10,55
8			28	5,02	19,79235	29,02	10,71	
9	Cal, puzolona, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolona por cemento	Carboncillo M14	28	37,4	20,13552	37,4	18,57	18,72
10			28	19,8	18,52535	19,8	10,69	
11			28	39,4	20,88469	39,4	18,87	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.20
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICIÓN PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:
Norma: ASTM 39
Fecha: 25/10/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 25% de sustitución de cal puzolana por cemento	Yucucapa M9	28	5,12	20,61556	31,90	15,47	17,69
2			28	4,58	16,45085	31,60	19,21	
3			28	5,02	19,79235	32,00	16,17	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres

Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón

Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.21

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICIÓN PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM 39

Fecha: 27/10/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 25% de sustitución de cal puzolana por cemento	Carboncillo M14	28	5,12	20,61556	53	25,71	26,49
2			28	4,53	16,09337	43,2	26,84	
3			28	5,14	20,73914	54,2	26,13	
4	Cemento, cal-puzolana al 25% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Cañicapa M1	28	43,2	16,49882	43,2	26,18	28,25
5			28	47,9	21,1284	47,9	22,67	
6			28	49,3	16,25971	49,3	30,32	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.22
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICIÓN PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracaterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:
Norma: ASTM 39
Fecha: 29/10/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento (P=30%; C=10%)	Cañicapa M6	28	5,06	20,07724	40,6	20,22	20,66
2			28	4,60	16,61903	29,4	17,69	
3			28	5,08	20,28958	42,8	21,09	

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres

**Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales**

Karla Daniela Malla Calderón

Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.23

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICIÓN PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución UTPL

Proyecto: Tesis: Caracaterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM 39

Fecha: 02/11/2016

Realizado: Karla Daniela Malla calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cal, puzolana, cemento y arena al 40% de sustitución de cal puzolana por cemento (P=30%; C=10%)	Chacaputo M7	28	4,56	16,33	26,3	16,10	18,44
2			28	5,23	21,50	33,5	15,58	
3			28	4,59	16,54	30,5	18,44	
4	Cemento, cal-puzolana al 25% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Yucucapa M9	28	5,03	19,87	27,8	13,99	13,49
5			28	5,15	20,80	23,7	11,39	
6			28	5,06	20,08	26,1	13,00	

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres

Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón

Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.24
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracaterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:
Norma: ASTM 39
Fecha: 12/11/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Claderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 40% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo suelo)	Cañicapa M1	28	5,08	20,29	53,8	26,51	27,50
2			28	4,67	17,13	48,8	28,49	
3			28	4,66	17,06	44,9	26,33	
4	Cemento, cal-puzolana al 25% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo suelo)	Cañicapa M6	28	4,63	16,81	39,1	23,26	25,22
5			28	5,00	19,63	48,1	24,50	
6			28	4,57	16,43	42,6	25,93	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UTPL
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.25
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA

SOLICITANTE Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracaterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:
Norma: ASTM 39
Fecha: 22/11/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 40% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo suelo)	Cañicapa M6	28	4,66	17,03	43,2	25,37	26,88
2			28	5,16	20,94	54,5	26,03	
3			28	4,50	15,90	44,1	27,73	
4	Cemento, cal-puzolana al 25% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo suelo)	Chacaputo M7	28	4,69	17,28	65	23,26	33,96
5			28	4,63	16,86	46,5	24,50	
6			28	5,08	20,26	61,4	25,93	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.26
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICIÓN PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:
Norma: ASTM 39
Fecha: 23/11/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 40% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Chacaputo M7	28	4,59	16,53243	46,1	27,88	31,62
2			28	4,78	17,91507	60,3	33,66	
3			28	4,55	16,23113	48	29,57	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres

**Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales**

Karla Daniela Malla Calderón

Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.27

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICION PUZOLÁNICA

SOLICITANTE Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM 39

Fecha: 24/11/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 25% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo suelo)	Yucucapa M9	28	4,59	20,43	32,7	16,01	17,39
2			28	4,78	15,88	29,8	18,76	
3			28	4,55	21,39	25,3	11,83	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres

Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón

Profesional en formación



UTPL
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.28

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICION PUZOLÁNICA

SOLICITANTE Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracaterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM 39

Fecha: 25/11/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 40% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo suelo)	Yucucapa M9	28	5,21	21,34621	36,6	17,15	17,64
2			28	4,54	16,21209	29,4	18,13	
3			28	5,04	19,95037	33,9	16,99	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres

Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón

Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.29
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTP
Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:
Norma: ASTM 39
Fecha: 29/11/2016
Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 25% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Carboncillo M14	28	5,12	20,616	60	29,10	28,31
2			28	5,21	21,292	58,6	27,52	
3			28	5,11	20,508	54,1	26,38	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres

Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón

Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.30

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ADICIÓN PUZOLÁNICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Caracterización y evaluación de puzolanas en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM 39

Fecha: 06/12/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Sector	Edad días	Diám cm	Area cm ²	Carga kN	Esf Mpa	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 25% de sustitución de cal puzolona, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Carboncillo M14	28	5,17	20,982	59,2	28,21	28,08
2			28	5,10	20,40151	57	27,94	
3			28	5,14	20,74991	53,9	25,98	

EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio
de resistencia de materiales

Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

ANEXO III.g.31

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION. ADICION PUZOLANICA

SOLICITANTE: Karla Daniela Malla Calderón

DIRECCIÓN: San Cayetano

Institución: UTPL

Proyecto: Tesis: Características y evaluación de puzolona en el cantón Saraguro

ENSAYO:

Norma: ASTM C 39

Fecha: 11/11/2016

Realizado: Karla Daniela Malla Calderón

DATOS DE ENSAYO

N°	Identificación de la muestra	Referencia de Laboratorio	Edad días	Diám cm	Área cm ²	Esf Mpa	Carga kN	Esf. Prom Mpa
1	Cemento, cal-puzolana al 40% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Yucucapa M9	14	4,52	16,02	15,73	25,2	16,02
2			14	5,23	21,46	16,31	35	
3			14	4,55	16,28	15,17	24,7	
4	Cemento, cal-puzolana al 25% de sustitución de cal puzolana, por el 100% arena. (combinación suelo-suelo)	Carboncillo M14	14	5,13	20,66	48,9	48,9	23,17
5			14	5,06	20,14	32	32	
6			14	5,14	20,72	47	47	

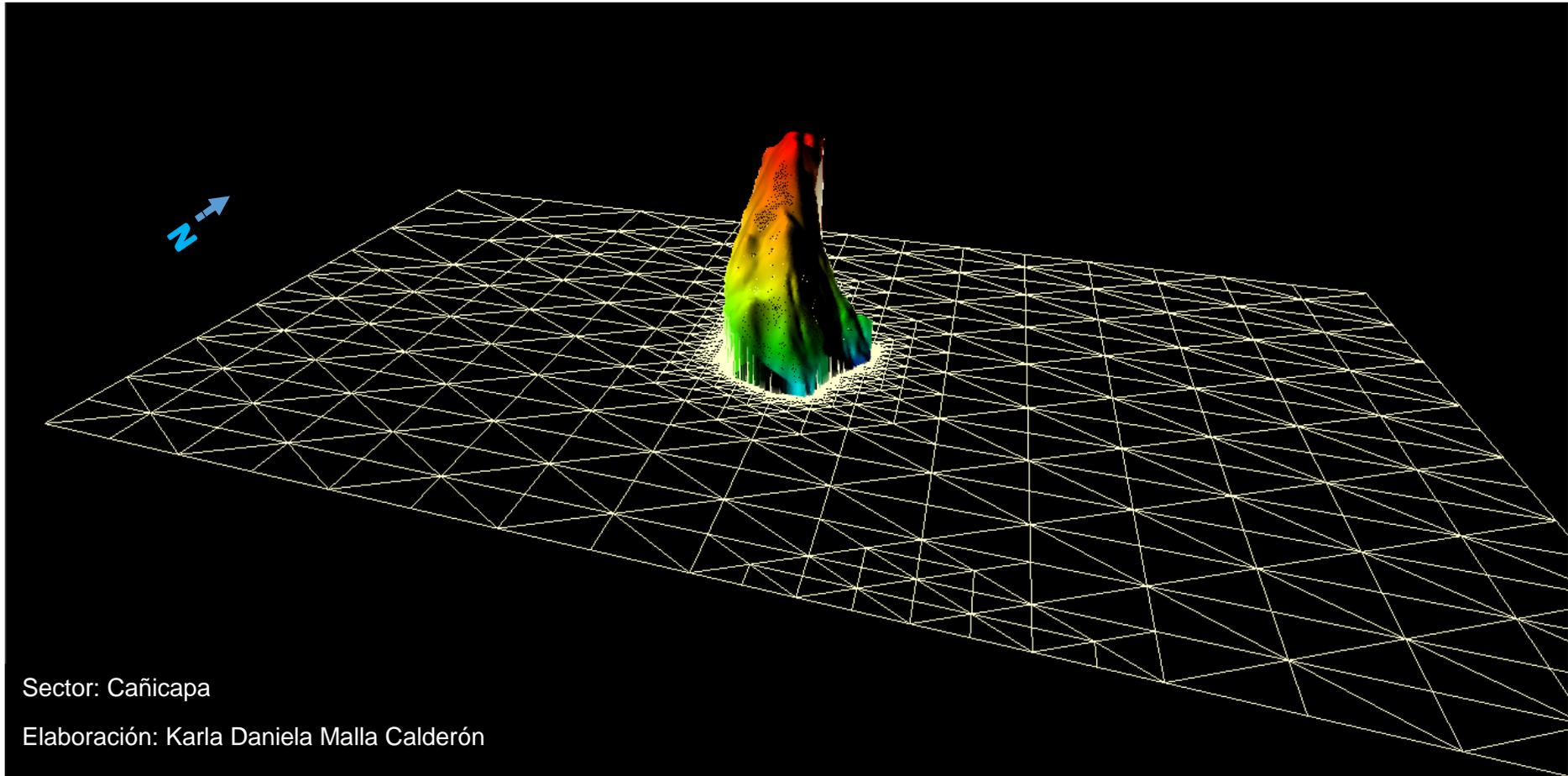
EQUIPO UTILIZADO: Máquina de Compresión Simple ACCU-TEK

1Mpa=10kg/cm²

MSc. Berenice Cecibel Zúñiga Torres
Responsable del laboratorio de resistencia de materiales

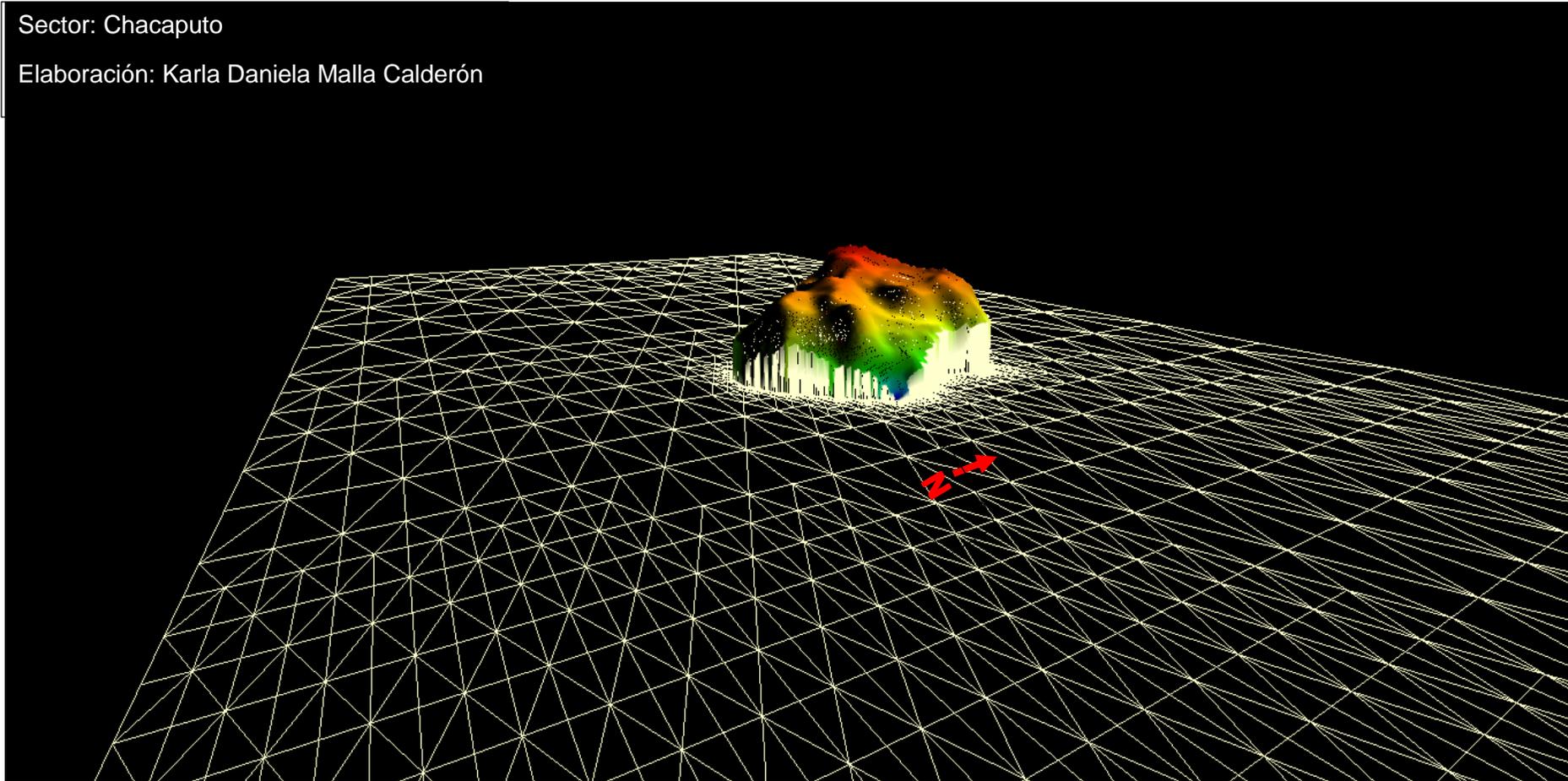
Karla Daniela Malla Calderón
Profesional en formación

ANEXO V: Modelamiento 3D de los recursos puzolánicas inferidos (ArcMap).



Sector: Chacaputo

Elaboración: Karla Daniela Malla Calderón



Sector: Carboncillo

Elaboración: Karla Daniela Malla Calderón

