

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

Título de disertación:

“Análisis de las propiedades físicas, composición química, características morfológicas y cristalinas del adobe empleado en estructuras patrimoniales de la ciudad de Quito sometido a envejecimiento simulado”

Disertación previa a la obtención del título de Químico/a

Nombre del estudiante: Doménica Guevara Chávez

Quito, 2023

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de disertación, posterior a la obtención del título de Químico/a, de la estudiante Doménica Paola Guevara Chávez ha sido concluido de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentado para el proceso de calificación correspondiente.

Dr. José Luis Piñeiros Mendoza

Director de la disertación

Quito, 2023

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a mis padres, quienes siempre me han apoyado de forma incondicional.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Fórmula Química del Estearato de Zinc _____ 23
- Figura 2 Líneas de tendencia sobre el contenido de sulfatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento
43
- Figura 3 Líneas de tendencia sobre el contenido de silicatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento
44
- Figura 4 Líneas de tendencia sobre el contenido de carbonatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento
45
- Figura 5 Líneas de tendencia sobre el contenido de bicarbonatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento _____ 46
- Figura 6 Líneas de tendencia sobre el contenido de cloruros en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento
47
- Figura 7 Líneas de tendencia sobre el contenido de hierro en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento
48
- Figura 8 Líneas de tendencia sobre el contenido de calcio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento
49
- Figura 9 Líneas de tendencia sobre el contenido magnesio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento
50
- Figura 10 Líneas de tendencia sobre el contenido de sodio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento
51

Figura 11 Líneas de tendencia sobre el contenido de humedad en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

52

Figura 12 Líneas de tendencia sobre el contenido de materia orgánica en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento _____ 53

Figura 13 Líneas de tendencia sobre el contenido de óxido de hierro orgánica en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento _____ 54

Figura 14 Líneas de tendencia sobre el contenido de óxido de calcio orgánica en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento _____ 55

Figura 15 Líneas de tendencia sobre el contenido de óxido de magnesio orgánica en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento _____ 56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de los equipos empleados con sus respectivas marcas y modelos	29
Tabla 2 Descripción de los reactivos empleados con sus respectivas; pureza, marca y concentración	30
Tabla 3 Concentración de los estándares para la curva de calibración del hierro	39
Tabla 4 Concentración de los estándares para la curva de calibración del calcio	39
Tabla 5 Concentración de los estándares para la curva de calibración del magnesio	39
Tabla 6 Concentración de los estándares para la curva de calibración del sodio	40
Tabla 7 Condiciones Experimentales del Equipo de Absorción Atómica	40
Tabla 8 Contenido de sulfatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento	42
Tabla 9 Contenido de silicatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento	43
Tabla 10 Contenido de carbonatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento	44
Tabla 11 Contenido de bicarbonatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento	45
Tabla 12 Contenido de cloruros en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento	46
Tabla 13 Contenido de hierro en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento	47
Tabla 14 Contenido de calcio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento	48
Tabla 15 Contenido de magnesio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento	49
Tabla 16 Contenido de sodio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento	50
Tabla 17 Contenido de humedad en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento	51

Tabla 18 Contenido de materia orgánica en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento ____	52
Tabla 19 Contenido de óxido de hierro en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento _____	53
Tabla 20 Contenido de óxido de calcio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento _____	54
Tabla 21 Contenido de óxido de magnesio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento ____	55
Tabla 22 Resultados del análisis de fluorescencia de rayos X de las muestras de; adobe de forma y recubrimiento a los 0 años de envejecimiento _____	56
Tabla 23 Resultados del análisis de fluorescencia de rayos X de las muestras de; adobe de forma y recubrimiento tras 20 años de envejecimiento _____	57
Tabla 24 Resultados del análisis de difracción de rayos X para determinación de los compuestos con cristalización definida _____	58

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Coordenadas edif. Ferrocarriles Chimbacalle _____ 82

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	15
RESUMEN	16
ABSTRACT	17
1. INTRODUCCIÓN	18
1.1. EL CENTRO HISTÓRICO DE QUITO	18
1.2. EL ADOBE	18
1.3. LOS COMPONENTES DEL ADOBE	18
1.3.1. Cationes	19
1.3.1.1. Calcio	19
1.3.1.2. Magnesio	20
1.3.1.3. Sodio	20
1.3.1.4. Hierro	20
1.3.2. Aniones	20
1.3.2.1. Carbonatos y Bicarbonatos	20
1.3.2.2. Sulfatos	21
1.3.2.3. Cloruros	21
1.3.2.4. Silicatos	21
1.3.3. Óxidos Metálicos	21
1.3.3.1. Óxido de Hierro	21
1.3.3.2. Óxido de Calcio	22
1.3.3.3. Óxido de Magnesio	22
1.3.4. Contenido de Humedad	22
1.3.5. Materia Orgánica	22
1.4. PROPIEDADES DEL ADOBE	22
1.4.1. Propiedades Físicas	23
1.4.1.1. Porosidad	23
1.4.1.2. Densidad Aparente	23
1.4.1.3. Absorción de Agua	23

1.4.1.4.	Expansión por Humedad _____	24
1.4.2.	Propiedades Mecánicas _____	24
1.4.2.1.	Resistencia a la Compresión _____	24
1.4.2.2.	Elasticidad Modulada _____	24
1.4.2.3.	Resistencia a la Tracción _____	24
1.5.	ENVEJECIMIENTO DE LOS MATERIALES _____	24
1.5.1.	Envejecimiento Artificial Acelerado _____	25
1.6.	EL CLIMA DE LA CIUDAD DE QUITO _____	25
1.7.	EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU EFECTO SOBRE LAS EDIFICACIONES ____	25
1.8.	VARIABLES CLIMÁTICAS QUE INFLUYEN EL ENVEJECIMEITNO DE LOS MATERIALES _____	26
1.8.1.	Radiación _____	26
1.8.2.	Temperatura _____	26
1.8.3.	Humedad _____	27
1.9.	ESTUDIO DE LOS MATERIALES ANTIGUOS _____	27
1.10.	PROPUESTA DE ANÁLISIS Y ENFOQUE _____	27
1.11.	OBEJTIVOS _____	28
1.11.1.	Objetivo General _____	28
1.11.2.	Objetivos Específicos _____	28
2.	MATERIALES Y MÉTODOS _____	29
2.1.	MUESTREO _____	29
2.2.	EQUIPOS _____	29
2.3.	MATERIALES _____	30
2.4.	REACTIVOS _____	30
2.5.	ENVEJECIMIENTO DEL ADOBE _____	32
2.6.	PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS _____	32
2.7.	ANÁLISIS GRAVIMÉTRICOS _____	32
2.7.1.	Determinación de Sulfatos _____	32
2.7.2.	Determinación de Silicatos _____	33

2.7.3.	Determinación de Óxido de Hierro	34
2.7.4.	Determinación de Óxido de Calcio	34
2.7.5.	Determinación de Óxido de Magnesio	36
2.7.6.	Determinación de Humedad	36
2.7.7.	Determinación de Pérdida por Calcificación	36
2.8.	ANÁLISIS VOLUMÉTRICOS	37
2.8.1.	Determinación de Carbonatos y Bicarbonatos	37
2.8.2.	Determinación de Cloruros	38
2.9.	DETERMINACIÓN DE CATIONES MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	38
2.9.1.	Curvas de Calibración	39
2.10.	DIFRACCIÓN DE RAYOS X	40
2.11.	FLOURESCENCIA DE RAYOS X	41
3.	RESULTADOS	42
3.1.	ANIONES	42
3.1.1.	Sulfatos	42
3.1.2.	Silicatos	43
3.1.3.	Carbonatos y Bicarbonatos	44
3.1.4.	Resultados de Cloruros	46
3.2.	CATIONES	47
3.2.1.	Hierro	47
3.2.2.	Calcio	48
3.2.3.	Magnesio	49
3.2.4.	Sodio	50
3.3.	HUMEDAD	51
3.4.	PÉRDIDA POR CALCINACIÓN	52
3.5.	ÓXIDOS	53
3.5.1.	Óxido de Hierro	53
3.5.2.	Óxido de Calcio	54

3.5.3.	Óxido de Magnesio	55
3.6.	FLUORESCENCIA DE RAYOS X	56
3.7.	DIFRACCIÓN DE RAYOS	58
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
4.1.	ANIONES	59
4.1.1.	Sulfatos	59
4.1.2.	Silicatos	59
4.1.3.	Carbonatos y Bicarbonatos	60
4.1.4.	Cloruros	61
4.2.	CATIONES	62
4.2.1.	Hierro	62
4.2.2.	Calcio	63
4.2.3.	Magnesio	63
4.2.4.	Sodio	64
4.3.	HUMEDAD	64
4.4.	PÉRDIDA POR CALCINACIÓN	65
4.5.	ÓXIDOS	66
4.5.1.	Óxido de Hierro	66
4.5.2.	Óxido de Calcio	67
4.5.3.	Óxido de Magnesio	67
5.	CONCLUSIONES	69
6.	RECOMENDACIONES	70
7.	BIBLIOGRAFÍA	71
8.	ANEXOS	82

AGRADECIMIENTO

A mis padres Javier y Ana Lucía por apoyarme incondicionalmente.

A mis hermanos Alex y Sebastián, por sacarme una sonrisa incluso en los días en los que parecía que todo estaba mal.

A mi hijo, mi perro, Espino por hacerme compañía mientras estudiaba, por comprender que no siempre podía llegar a jugar con él.

A mis amigos más cercanos; Martín Tapia, Martín Farfán, Bernardo Tapia, Xavier Martínez y Ariana Ostaiza, quienes siempre estuvieron para mí.

A mis profesores; Dr. José Luis Piñeiros y Dra. Katherine Vaca, quienes lograron dejar en mí una huella. Enseñándome que la ciencia no tiene porque se aburrida. Por el contrario, esta es la forma más curiosa de comprender el mundo.

A mis lectores, la Dra. Lennys Fernández y el Dr. Ernesto de la Torre, quienes siempre se encontraron al pendiente del proceso de este trabajo de titulación.

Pero sobre todo a mis abuelitos, a mis titos, porque gracias a ellos aprendí; que nada es gratis en la vida. Que cada cosa conlleva un esfuerzo, porque no considero que sean sacrificios. Infinitas gracias Blanquita y Luchito, espero que desde el cielo me miren orgullosos porque este es tan solo un pequeño paso de todos aquellos que espero dar.

RESUMEN

El adobe es un material antiguo que se encuentra en el patrimonio tangible de la humanidad, por lo que se estudió el envejecimiento del adobe de forma y del recubrimiento. Las muestras de cada tipo de adobe se colocaron dentro de la cámara de envejecimiento artificial acelerado; donde, se controlaron condiciones ambientales como; la humedad, la temperatura y la radiación. Además, se usó el software desarrollado por el Ing. Pazos de la PUCE, para determinar que un período de 77 días corresponde a un envejecimiento de 20 años. Para la determinación de; pérdida por humedad, pérdida por calcinación, y óxidos de silicio, hierro, calcio y magnesio se llevó a cabo mediante técnicas gravimétricas. Las técnicas volumétricas por su parte se emplearon para la determinación de cloruros, carbonatos y bicarbonatos. La espectroscopía de absorción atómica por su parte se usó para determinar la concentración de metales como; hierro, sodio, calcio y magnesio dentro de la muestra. Así mismo, se realizó el análisis de fluorescencia y difracción de Rayos X para determinar cualitativa y cuantitativamente la composición del material, así como su cristalografía. Todos los resultados obtenidos fueron tabulados y graficados a manera de líneas de tendencia, que sirven para tener una mejor interpretación de estos. Entre los resultados que llamaron más la atención se encuentran; la variación de humedad en la muestra que presentó picos de pérdida y absorción bastante significativos. El equilibrio entre carbonato-bicarbonato por la transferencia del ion hidronio para mantener el equilibrio químico. Y, los óxidos de hierro, dado que, variaron de forma interesante entre la muestra de adobe de forma y el recubrimiento. Se puede concluir entonces que la composición química del adobe de forma y el recubrimiento cambia con el paso del tiempo. Por lo que es importante prevenir afectaciones de estos materiales para preservar el patrimonio del Centro Histórico de Quito.

Palabras clave: adobe, cámara de envejecimiento artificial acelerado, difracción de Rayos X, espectroscopía de absorción atómica, fluorescencia de Rayos X, recubrimiento, técnicas gravimétricas y volumétricas.

ABSTRACT

Adobe is an ancient material that is part of the tangible heritage of humanity, which is why the aging of adobe in shape and coating was observed. Samples of each type of adobe are placed inside the accelerated artificial aging chamber; where, environmental conditions such as; humidity, temperature and radiation. In addition, the software developed by Mr. Pazos from PUCE was used to determine that a period of 77 days corresponds to an age of 20 years. For the determination of; Using gravimetric techniques, losses due to humidity, losses due to ignition and oxides of silicon, iron, calcium and magnesium were carried out. Volumetric techniques were used for the determination of chlorides, carbonates and bicarbonates. Atomic absorption spectroscopy for its part was used to determine the concentration of metals such as; iron, sodium, calcium and magnesium within the sample. Likewise, fluorescence and X-ray diffraction analyzes were performed to qualitatively and quantitatively determine the composition of the material, as well as its crystallography. All the results obtained were tabulated and graphed as trend lines, which serve to have a better interpretation of these. Among the results that attracted the most attention are; the moisture variation in the sample that presented quite significant loss and absorption peaks. The equilibrium between carbonate-bicarbonate by the transfer of the hydronium ion to maintain the chemical equilibrium. And, the iron oxides, well, varied in an interesting way between the adobe sample of form and the coating. It can be concluded then that the chemical composition of the adobe of shape and coating changes with the passage of time. Therefore, it is important to prevent the deterioration of these materials to preserve the heritage of the Historic Center of Quito.

Keywords: adobe, accelerated artificial aging chamber, X-ray diffraction, atomic absorption spectroscopy, X-ray fluorescence, coating, gravimetric and volumetric techniques.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL CENTRO HISTÓRICO DE QUITO

El centro histórico de Quito ocupa un valle de 320 hectáreas. Está situado a 2860 msnm y 25 km al sur de la línea Equinoccial. El centro histórico de Quito se desarrolló durante 160 años desde 1605 (Peñaherrera M., 2008). Y, fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad en 1978 por la UNESCO; desde entonces, la historia de la ciudad tuvo un cambio, dado que se convirtió en un punto de interés para la comunidad local, nacional e internacional (Burgos-Vigna, 2017). El centro histórico de la urbe capitalina es uno de los 20 mejor conservados en América Latina y cuenta con un bagaje cultural tangible e intangible que resulta invaluable. Sin embargo, a pesar de que la inversión pública a tratado de mantener el lugar durante las últimas dos décadas, esto no es suficiente, puesto que las estructuras patrimoniales se ven amenazadas por el deterioro físico y social. Lastimosamente, no existe aún una fuente de inversión privada que trabaje en la restauración y mantenimiento de las edificaciones del lugar (Moreno-Manzo et al., 2022). Preservar el patrimonio tangible del centro histórico de Quito es de suma importancia. Motivo por el cual es oportuno estudiar el deterioro físico y químico de sus materiales; especialmente el adobe, causado por factores climáticos y antropogénicos.

1.2. EL ADOBE

El término “adobe”, de origen español/árabe, hace referencia a los materiales de construcción que fueron desarrollados a partir de la humectación de la tierra y el secado al sol (Illampas et al., 2009). Alrededor del mundo, al menos el 30% de la población vive en casas hechas de este material; del cual el 50% se encuentra en las áreas rurales y marginales de los países en vías de desarrollo (Varum et al., 2015). No obstante, el adobe, material que se desarrolló por primera vez en Mesopotamia hace 7 000 años, no solo se encuentra presente en pequeñas viviendas, sino que también está presente en fortalezas, tumbas, palacios y templos que tienen un atractivo estético significativo y un alto valor histórico (Illampas et al., 2009). La importancia del estudio del material recae en sus propiedades, mismas que son inferiores en muchos aspectos en relación con otros materiales de construcción más actuales; además, de su vida útil que depende de las acciones oportunas de mantenimiento y reparación (Duarte et al., 2017).

1.3. LOS COMPONENTES DEL ADOBE

De forma general, el adobe es una mezcla de suelos arcillosos, agua y materia orgánica secada al sol (C. Costa et al., 2018 & Paradiso et al., n.d.). Dependiendo del tipo de suelo se producen materiales más duraderos que otros. Cabe mencionar que la durabilidad del adobe está estrechamente relacionada con el tamaño de partícula. En función de este, los suelos se

clasifican en; grava con un tamaño mayor a 2,00 mm, arena entre 2,00 a 0,02 mm, limo de 0,02 a 0,002 mm y arcilla con partículas de tamaño menor a 0,002 mm (Brown & Clifton, 2014).

La durabilidad del adobe se ve afectada de forma negativa por parte de varios factores; entre los que destacan la presencia excesiva de grava o arcilla dentro del material (Sharma et al., 2016) La arcilla está compuesta principalmente por óxidos de silicio, aluminio y magnesio (Nyakairu & Koeberl, 2001). La sílica se encuentra presente entre 53% a 61% y la alúmina entre un 22% a un 32% (Fernandes et al., 2010). Como se mencionó anteriormente, la durabilidad del adobe se le atribuye a la arcilla, dado que los minerales arcillosos tienden a expandirse en presencia de humedad y a contraerse mediante procesos de secado (Brown & Clifton, 2014 & Lambe, 1958).

La arcilla, se define según el contenido de agua, y la geometría y el tamaño de partículas que la conforman. El contenido de agua determina la plasticidad o dureza de la arcilla. Siendo que el material húmedo tiene plasticidad, mientras que tras el proceso de secado se vuelve rígido. Estructuralmente, la arcilla está conformada por unidades tetraédricas y octaédricas que se enlazan entre sí. Según la forma de unión las arcillas se clasifican en; caolinitas donde una capa tetraédrica y una octaédrica se unen (1:1), arcillas que no se expanden donde una lámina octaédrica se encuentra cada dos laminas tetraédricas, arcillas de expansión limitada, arcillas de fuerte expansión y silicatos fibrosos. Cabe mencionar también que las láminas de las capas se sostienen gracias a las Fuerzas de van der Waals, formándose una capa intermedia entre cada capa que conforma la arcilla (Rocha et al., 2022). Evidentemente, dependiendo del tipo de arcilla se define la resistencia del adobe (Wilson, 1999).

El adobe dimensional estable tiene una alta relación entre la proporción arena-arcilla-limo. El material estable se compone de 70-80% de arena, 10-15% de arcilla-limo y un porcentaje de agua entre 25-30% para ladrillos de adobe o un 12-15% cuando se va a realizar construcciones directamente asentadas sobre el piso (C. S. Costa et al., 2013).

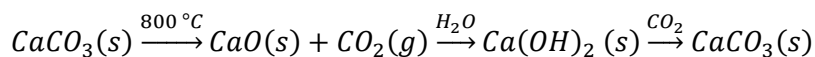
Así mismo, se considera que el adobe es un material con alta resistencia a la compresión, pero baja resistencia a la tensión. Lo que lo vuelve un material quebradizo con baja resistencia sísmica. Por lo que se lo ha sustituido con materiales más modernos y teóricamente más seguros. No obstante, comprender el funcionamiento del adobe es de vital importancia para mejorar materiales y técnicas, con el fin de brindar soluciones innovadoras (Paradiso et al., n.d.).

1.3.1. Cationes

1.3.1.1. Calcio

El calcio, Ca, es uno de los elementos más abundantes conformando el 4,1% de la corteza terrestre. El elemento no se encuentra libre en la naturaleza. Este está dentro de rocas como; la piedra caliza en forma de CaCO_3 , en el yeso como CaSO_4 , en la fluorita CaF_2 , y en la apatita

como CaCl_2 y $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ (Krieck et al., 2010). Los ladrillos se producen a altas temperaturas, por encima de los 800°C , por lo que el CaCO_3 “*calcita*” se descompone en CaO y CO_2 . Mientras que en presencia de humedad se transforma en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ “*portlandita*”. No obstante, el proceso se revierte en presencia de CO_2 hasta la formación de calcita. Las reacciones antes mencionadas son de suma importancia dado que producen un aumento en el volumen de fisuras y porosidades del adobe (Uğurlu Sağın & Böke, 2013).



(Ecuación 1. Conversión de carbonato de calcio)

1.3.1.2. Magnesio

El Magnesio es el sexto elemento más abundante de la Tierra. Este elemento, se comporta de forma similar al calcio y tampoco se encuentra libre en la naturaleza. El Magnesio se encuentra dentro de rocas en forma carbonatos, sulfatos y silicatos insolubles. El metal es bastante inflamable, pudiendo encenderse en atmósfera de nitrógeno cuando está en grandes cantidades. Sin embargo, su presencia dentro del adobe es lo suficientemente baja como para no aportar propiedades inflamables de importancia al material (Diem, 2001).

1.3.1.3. Sodio

El sodio es un elemento de importancia dentro de la Tierra. Este se encuentra sobre todo en forma de NaCl . Aunque, también se encuentra en forma de óxidos como Na_2O y dentro de algunos aluminosilicatos $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (Y. Wang et al., 2017). En los materiales de construcción el sodio se encuentra sobre todo formando parte de los aluminosilicatos. En realidad, la presencia de sodio como NaCl dentro de los materiales puede ser indicativo de que existen fugas de agua en las construcciones. Factor que puede acelerar el deterioro del adobe a causa del crecimiento bacteriano con la sal (Cromack et al., 1977).

1.3.1.4. Hierro

El hierro no se encuentra de forma libre en la corteza terrestre. Este está principalmente en forma de minerales como la hematita, la goetita, la magnetita y la limonita (Tewari, 2003). Dentro de las arcillas, el hierro es de suma importancia dado que mejora sus propiedades de sinterización. Aunque, también repercute en el peso final del material (Stucki, 2006)

1.3.2. Aniones

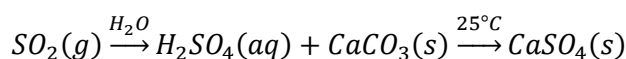
1.3.2.1. Carbonatos y Bicarbonatos

Los carbonatos y bicarbonatos son las especies químicas encargadas de mantener el balance entre la acidez y la alcalinidad del material. El problema con el mantenimiento del equilibrio es que si es bastante repetitivo la porosidad puede verse afectada. No obstante, esto no afecta de forma significativa al adobe. Dado que el sometimiento a temperaturas mayores a 800°C , para

la formación de ladrillos, causa su descomposición parcial en óxido de calcio y dióxido de carbono (H. Wang & Schneider, 2010). Cabe mencionar también que los metales que se asocian con mayor facilidad a los carbonatos y bicarbonatos son el calcio y el magnesio. Además, ambos metales pueden estar asociados simultáneamente en forma de “*dolomita*” ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) dentro de la caliza (Warren, 2000).

1.3.2.2. Sulfatos

Los sulfatos están presentes principalmente en fuentes de agua; sin embargo, también se encuentra en suelos y rocas (Stefan & Janoschek, 2000). Los sulfatos por factores ambientales pueden descomponerse en dióxido de azufre (SO_2). Un contaminante reactivo y muy corrosivo, que al contacto con el agua forma H_2SO_4 que degrada los compuestos de calcio. Repercutiendo de forma negativa en la resistencia y durabilidad del material (Mees & Stoops, 2018).



(Ecuación 2. Reacción de los sulfatos con el ambiente)

1.3.2.3. Cloruros

El cloro, se encuentra en forma de cloruros en la carnalita NaCl y silvita KCl (Y. Li et al., 2022). Los cloruros están directamente relacionados con la humedad y la intemperie salina. Por este motivo, el deterioro de los materiales es mayor en zonas costeras que en zonas andinas (Ipekoğlu et al., 2007). El cloro es un elemento que provoca la corrosión de los materiales mediante reacciones redox. Por lo que, actualmente se están desarrollando compuestos permeabilizantes que mitiguen el efecto de la corrosión causada por el cloro (Yépez & Yépez, 2017).

1.3.2.4. Silicatos

Los silicatos son los minerales más comunes del planeta Tierra. Entre estos se encuentran el cuarzo (SiO_2), el feldespato (XAlSiO_8), donde el elemento X puede corresponder a Na, K o Ca, la mica ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$), el anfíbol ($\text{X}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$), en el que el metal X puede ser Mg, Fe o Ca, el piroxeno (XYSi_2O_6), en este caso Y puede ser Mg, Fe o Al y X Ca o Na, y el olivino (Fe_2SiO_4) y (Mg_2SiO_4), Fayalita y Forsterita, respectivamente (Bragg, 1930). La presencia de los silicatos dentro de los materiales, en especial de los ladrillos es de suma importancia. Debido a que incrementan la estabilidad y por tanto la calidad de estos (Kemp., et al, 2013).

1.3.3. Óxidos Metálicos

1.3.3.1. Óxido de Hierro

El Fe_2O_3 que se encuentra en los materiales proviene principalmente de las arcillas que se usan para su formación. La importancia de este óxido dentro del adobe es la resistencia que le aporta

al material. Dado que el óxido de hierro es resistente a factores climáticos como; humedad, presión y temperatura (Sun., et al, 2022).

1.3.3.2. Óxido de Calcio

El óxido de calcio es producto de la tostación del carbonato de calcio. El óxido de calcio es bastante higroscópico. Es decir, que en presencia del agua del ambiente se transforma en su hidróxido, lo que desencadena los cambios de las propiedades del material original (Uğurlu Sağın & Böke, 2013). Sin embargo, el efecto se puede mitigar gracias a la presencia de aluminatos y silicatos que se encuentran en el material. Estos forman compuestos estables con el calcio y de esta forma le brindan al adobe mayor resistencia y durabilidad (Sakellariou., et al, 2015).

1.3.3.3. Óxido de Magnesio

El óxido de magnesio se encuentra presente en la caliza constituyente de los materiales. Este óxido trae consigo la desintegración de materiales como el adobe, el cemento y el concreto. Esto se debe a que el MgO tienen gran capacidad de hidratación y se vuelve susceptible incluso al vapor de agua del ambiente (Gravit., et al, 2018).

1.3.4. Contenido de Humedad

Este se expresa en porcentaje y se determina mediante la pérdida de peso que sufre la muestra tras someterse a una combinación tiempo-temperatura adecuada. En el caso del adobe, el contenido de humedad se define como el porcentaje de agua presente en la mezcla de tierra, agua y excremento animal (McHenry, 1985).

1.3.5. Materia Orgánica

La materia orgánica es cualquier material producido originalmente por organismos vivos (plantas o animales). La materia orgánica se define como el producto que se pierde en masa debido al proceso de calcinación de las muestras. Lo que se debe a la descomposición de la materia orgánica a altas temperaturas en dióxido de carbono y vapor de agua. En los materiales de construcción como en el adobe, la materia orgánica proviene del tipo de suelo que se emplea como materia prima. El suelo está compuesto por dos porciones de concentración variable; la fracción orgánica activa que incluye microorganismos (10-40%) y la materia orgánica resistente o estable también conocida como humus (40-60%) (Uğuryol & Kulakoğlu, 2013).

1.4. PROPIEDADES DEL ADOBE

Las propiedades que exhibe el adobe son importantes para evaluar su fuerza y durabilidad. De hecho, las propiedades están estrechamente relacionadas con la calidad de la arcilla y el proceso de manufactura empleado (Quagliarini et al., 2015).

1.4.1. Propiedades Físicas

Las propiedades físicas se refieren a las características que se pueden observar o medir en un material sin cambiar la identidad de este. Tradicionalmente, se analizan propiedades físicas como el color, la densidad, la dureza, y los puntos de fusión y ebullición (Hale, 1976). No obstante, a continuación, no se presentan las propiedades físicas tradicionales, sino las de mayor relevancia para el análisis del adobe.

1.4.1.1. Porosidad

La porosidad es la relación que existe entre el volumen de espacios vacíos y el volumen total del material. Este parámetro es importante dado que influye en propiedades como la reactividad química, la resistencia mecánica, la durabilidad y la calidad del ladrillo de adobe. En un estudio realizado en ladrillos de adobe de los siglos XII al XVII se muestra que la porosidad del material es de entre 25 a 35 % v/v (Millogo et al., 2008).

1.4.1.2. Densidad Aparente

La densidad aparente se define como la relación entre el peso del ladrillo seco y el volumen de arcilla que se usó para fabricar el ladrillo. Evidentemente, mientras mayor es el peso de ladrillo seco se tiene una densidad aparente más alta. Los ladrillos de buena calidad deben tener una densidad aparente de entre 1200-1900 g/m³ (Fernandes et al., 2010). Mientras mayor es la densidad aparente se evidencia una mejoría en las propiedades mecánicas y la durabilidad del adobe. Por esta razón, se está tratando de incrementar la densidad aparente con la adición de estearato de zinc para hacer un tipo de adobe más hidrofóbico (Lanzón et al., 2017).

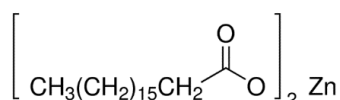


Figura 1 Fórmula Química del Estearato de Zinc

Fuente: Central Drug House. (2023). Retrieved from [CAS-557-05-1, Zinc Stearate Manufacturers, Suppliers & Exporters in India | 275510 \(cdhfinechemical.com\)](https://www.cdhfinechemical.com/275510)

1.4.1.3. Absorción de Agua

La absorción de agua determina la cantidad de fluido que puede almacenarse y circular dentro del ladrillo, favoreciendo el deterioro y reduciendo la resistencia mecánica. La absorción normal de agua de los ladrillos de los siglos XII al XVII van del 10% al 25% (Fernandes et al., 2010). La absorción de agua también puede deberse a la materia prima de la que está elaborado el ladrillo de adobe. Por lo general se usa un subsuelo arenoso; sin embargo, en algunos casos se emplea tierra vegetal con un alto contenido de materia orgánica. Misma que se biodegrada, absorbe agua y vuelve al ladrillo altamente comprimible (Statutory Declaration, n.d.).

1.4.1.4. Expansión por Humedad

La expansión por humedad en los ladrillos de arcilla puede ser parcial o total, y reversible por el proceso de humectación-secado. Según la literatura los valores normales de expansión son de entre 0,1% y 0,2% (Grossi et al., 1998).

1.4.2. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas se definen como la relación que tiene un material entre su respuesta o deformación ante una fuerza aplicada. Entre las propiedades mecánicas más comunes de los materiales se encuentra; la ductilidad, la resistencia, la dureza y la rigidez (Metsger et al., 1999).

1.4.2.1. Resistencia a la Compresión

La evaluación de la resistencia mecánica a la compresión es un parámetro difícil de evaluar por la variedad de composiciones que presentan los ladrillos de adobe. La variabilidad se incrementa también por las formas de producción, y por lo factores climáticos y los agentes químicos como las sales solubles. Varios estudios detallan que la resistencia a la compresión para ladrillos de adobe de los siglos XVI y XVII está entre 5,2 a 32,9 MPa (Dhandhukia et al., 2013).

1.4.2.2. Elasticidad Modulada

A pesar de que en la literatura no se expresa de forma clara cómo se calcula la elasticidad modulada, los autores señalan que el valor promedio se encuentra en 7,3 GPa. Así mismo se debe mencionar que este parámetro tiene una estrecha relación con la resistencia de compresión, y que su valor aceptado es de $200f_c$ (Barnett & Shinn, 2003; Fernandes et al., 2010).

1.4.2.3. Resistencia a la Tracción

Por definición, la resistencia a la tracción depende de la fuerza de los granos minerales y la matriz que los une. En presencia de tensiones de tracción el adobe se comporta de manera similar a materiales cuasi-frágiles como el hormigón o la piedra. Sin embargo, su resistencia a la tracción es muy baja en comparación con la resistencia a la compresión por lo que se la puede considerar despreciable. Dado que los valores de resistencia a la tracción de los ladrillos de adobe alcanzan como máximo un 10% de su valor de la resistencia a la compresión (Jové-Sandoval et al., 2018).

1.5. ENVEJECIMIENTO DE LOS MATERIALES

El envejecimiento de materiales es el deterioro físico o químico de estos por condiciones climáticas o antropogénicas, de entre las que destacan; la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, el efecto de opacidad y las fluctuaciones de radiación (Abu Al-Rub et al., 2013).

1.5.1. Envejecimiento Artificial Acelerado

El envejecimiento artificial acelerado (AA) utiliza factores ambientales que se relacionan comúnmente con el deterioro de estructuras. Entre los factores ambientales de mayor relevancia se encuentra; la temperatura de almacenamiento y la humedad relativa (Tekronyl, n.d.). El empleo del envejecimiento artificial acelerado en materiales cumple con tres propósitos fundamentales; Primero, evaluar en periodos cortos de tiempo las variaciones en las propiedades físicas y químicas que son las responsables de la estabilidad del material para poder clasificarlo. Segundo, estimar o predecir el tiempo de vida útil de los materiales de construcción. Y, tercero elucidar las reacciones químicas que implica el deterioro de los materiales y obtener información sobre como el deterioro afecta a las propiedades físicas del material (Feller, 1995)

Para desarrollar el método de envejecimiento artificial acelerado es necesario el conocimiento de las propiedades intrínsecas del material. Debido a que se evalúa la evolución de este frente a factores extrínsecos como; la humedad del ambiente, la radicación, la precipitación, la contaminación y los cambios bruscos de temperatura (Íñigo et al., 2000). Debido a que las propiedades extrínsecas a las que se somete el material son propias del lugar de estudio el Ing. José Alarcón desarrollo el programa *Solver*. Este programa emplea modelos matemáticos que permiten hacer predicciones acerca de las variables climáticas que se tienen en el Distrito Metropolitano de Quito. La base de datos de *Solver* fue establecida gracias a la información que se obtuvo en tres estaciones meteorológicas de la ciudad: Carapungo, Belisario y El Camal (Sistemas Y Computación Análisis et al., 2017).

Dentro de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador ya se han realizado estudios sobre el envejecimiento artificial acelerado de hormigón y teja, mismos que muestran resultados del deterioro del material en 5, 10, 15 y 20 años a futuro (Pazos Castillo, 2018). Sin embargo, hasta ahora no se ha hecho un estudio sobre el deterioro del adobe, a pesar de su importancia. Por lo que el presente trabajo se desarrolla considerando condiciones cronológicas similares y usando el programa *Solver*.

1.6. EL CLIMA DE LA CIUDAD DE QUITO

Quito presenta el clima clásico de una ciudad andina. Sus condiciones climáticas durante el año son; temperatura de entre 10°C a 20°C, humedad relativa entre 65% a 85%; siendo noviembre y mayo los meses de mayor humedad en el año, y radiación alta y extremadamente alta como consecuencia de la altura a la que se ubica la ciudad (Canar et al., 2020).

1.7. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU EFECTO SOBRE LAS EDIFICACIONES

El cambio climático es un problema mundial que aqueja a las civilizaciones. Mismo que se ve reflejado específicamente en el calentamiento global. El calentamiento global cada vez es más drástico. Este se promueve por la producción de productos en aerosol y el desarrollo industrial

(Liverman & O'Brien, 1991). Hoy en día las industrias buscan desarrollar productos sostenibles mediante el modelo de economía circular. Sin embargo, esta medida no es suficiente para mitigar el problema (van Buren et al., 2016). Dado que el planeta ha aumentado su temperatura de forma drástica en los últimos 100 años (Schuldt et al., 2011). Si bien el calentamiento global aqueja a todo el mundo. Este se expresa de forma distinta en función de la región en donde se vivencia el problema (Schuldt et al., 2011b).

1.8. VARIABLES CLIMÁTICAS QUE INFLUYEN EL ENVEJECIMIENTO DE LOS MATERIALES

El envejecimiento de los materiales se ve influenciado por variables meteorológicas como la radiación, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, las precipitaciones, el viento, las masas de viento y los frentes de aire (Pazos Castillo, 2018). Dentro de este trabajo únicamente se analizan las tres primeras variables mencionadas, dado que, son las únicas que se pueden controlar dentro de la cámara de envejecimiento artificial acelerado.

1.8.1. Radiación

La radiación solar o también conocida como luz solar se define como la onda electromagnética que es emitida por el sol. Según la longitud de onda, la radiación se clasifica en rayos UV, luz visible, infrarrojo y ondas de radio (Iqbal, 2012). No obstante, con el fin de comprender los efectos climáticos solo se considera la radiación UV. La cantidad de radiación UV que recibe cada lugar depende principalmente de la latitud y altitud, la época del año y la presencia de las nubes (Capa et al., 2004). En realidad, la cantidad de radiación UV a la que se ve expuesto el material trae consigo variaciones de temperatura que desencadenan tensiones internas en el material entre las zonas expuestas y no expuestas. Por este motivo, actualmente, se han creado una serie de algoritmos matemáticos que predicen con gran exactitud la cantidad de radiación a la que se ven sometidas las edificaciones de un determinado lugar (Wong & Chow, 2001).

1.8.2. Temperatura

La temperatura se define como una cantidad física que es capaz de expresar cuantitativamente la percepción de frío y calor (Babcock, 1976). Desde el punto de vista molecular, la temperatura se considera como la cantidad de vibraciones que tienen las moléculas en un determinado tiempo. Es decir, a medida que aumenta la temperatura hay más colisiones entre moléculas y por tanto mayor energía cinética. El aumento de las colisiones además trae consigo la formación de nuevas especies moleculares por los choques que se dan dentro del material (Ayers et al., 2002). Otro punto importante por considerar es la variación de la temperatura y el punto de congelación, debido a que las variaciones de la congelación y descongelación del agua que se encuentra en los poros del adobe aportan negativamente a su conservación (Cheng, n.d.)

1.8.3. Humedad

La humedad se define como la cantidad de agua en estado gaseoso que se encuentra en el ambiente. La humedad, depende de varios factores como la cantidad de precipitaciones, la vegetación y la cercanía al mar. Motivo por el cual, la humedad es un parámetro variable que depende de la posición geográfica (Chen & Lu, 2005). La humedad, también afecta al adobe de forma significativa. Valores muy altos de humedad en el ambiente perjudican las propiedades físicas del material. Mientras que cuando la humedad es muy baja se evidencia un aumento en el tamaño de los poros del adobe, lo que desencadena en la formación de grietas y posterior ruptura de los bloques (Zonno et al., 2019).

La exposición del adobe a la humedad junto con las lluvias causa una alteración mineralógica del material, además de cambios microestructurales (López-Arce et al., n.d.). En realidad, el adobe se somete a un ambiente hostil; constituido por la humedad, la contaminación ambiental y las variaciones de temperatura. Este ambiente afecta la durabilidad, no solo del adobe sino de todos los materiales. Varios autores comprueban lo antes mencionado con estudios sobre el comportamiento de los materiales al ser expuestos a las condiciones ambientales y al estar enterrados (Lopez-Arce & Garcia-Guinea, n.d.).

1.9. ESTUDIO DE LOS MATERIALES ANTIGUOS

Los materiales antiguos son de suma importancia para la sociedad, dado que a partir de estos están contruidos palacios, templos, monumentos e iglesias con gran valor histórico para la humanidad (Morcillo et al., 2017). Sin embargo, la inexistencia de información sobre estos dificulta la restauración de estas piezas arquitectónicas. No obstante, en los últimos años los investigadores han venido estudiando estos materiales sobre todo para cumplir objetivos de restauración (-Fernandez-Ordoñez et al., 2015). De forma general, no existen estudios químicos detallados de los materiales; dado que la mayoría de los estudios se centran en sus propiedades físicas y mecánicas. De entre las que destacan; porosidad, densidad, absorción de agua y expansión por humedad, y resistencia a la compresión, elasticidad y resistencia a la tracción, respectivamente (Fernandes et al., 2010; Maynard, 2014).

1.10. PROPUESTA DE ANÁLISIS Y ENFOQUE

El centro Histórico de Quito es Patrimonio Cultural de la Humanidad por sus construcciones y monumentos. Edificaciones construidas con materiales antiguos que se están deteriorando. La contaminación ambiental natural o antrópica coadyuva al deterioro de estos materiales. Con el fin de preservar al patrimonio tangible de la ciudad se busca investigar el deterioro de las propiedades químicas y físicas de los materiales antiguos, especialmente del adobe. Para de esta manera tener en claro las técnicas de restauración que se le debe dar a cada construcción patrimonial en función de su material original.

A lo largo del mundo, el envejecimiento artificial acelerado (AA) ya se emplea como una herramienta para evaluar la variación de las propiedades de los materiales a través del tiempo. No obstante, en Ecuador, en el Distrito Metropolitano de Quito, no hay muchos trabajos que hablen sobre el tema. Y, de los pocos que se encuentran registrados la mayoría presenta un mayor enfoque en las propiedades físicas. A pesar de que, tanto las propiedades físicas como químicas están estrechamente relacionadas. En el presente trabajo se busca equilibrar la importancia que se les da a ambas propiedades. Por lo tanto, emplear el envejecimiento artificial acelerado (AA) al adobe puede ayudar a predecir la duración de las estructuras de forma eficiente, permitiendo tomar medidas de prevención de forma oportuna.

1.11. OBEJTIVOS

1.11.1. Objetivo General

Evaluar si la actividad antropogénica y el cambio climático generados en el centro histórico de la ciudad de Quito, afectan las propiedades físicas, composición química, características morfológicas y cristalinas en el material adobe empleado en las estructuras patrimoniales.

1.11.2. Objetivos Específicos

- 1.11.2.1. Analizar cuantitativamente la variación de las propiedades físicas, químicas, características morfológicas y cristalinas del adobe en las muestras envejecidas.
- 1.11.2.2. Contrastar las tendencias de las variaciones de las propiedades mecánicas, químicas, características morfológicas y cristalinas del adobe envejecido y relacionarlos entre sí para definir recomendaciones que atenúen los efectos del envejecimiento de materiales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento experimental de este trabajo se realizó dentro de las instalaciones de la Escuela de Ciencias Químicas de la PUCE.

Las muestras para el análisis fueron obtenidas en el marco del proyecto “Definición de los principales impactos ambientales generados por el cambio climático que afectarían los materiales de construcción en proyectos de Ingeniería Civil, aplicación piloto en la ciudad de Quito, Ecuador” el cual fue realizado en la Facultad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

El desarrollo experimental se divide en muestreo, preparación de las muestras, envejecimiento acelerado, y análisis: gravimétricos, volumétricos y espectrofotométricos.

2.1. MUESTREO

Las muestras analizadas fueron provistas por integrantes del proyecto “Impactos en la infraestructura patrimonial del Centro Histórico de Quito ocasionado por actividades antropogénicas” de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Artes de la PUCE. Las muestras entregadas fueron seis ladrillos de adobe de 40x40x10 cm de antigüedad previa a la constitución de la República del Ecuador. Mismos que fueron tomados de la Av. Simón Bolívar entre las calles García Moreno y Sebastián de Benalcázar, edif. Ferrocarriles Chimbacalle con coordenadas 0°13'17.9"S 78°30'53.0"W.

Nota: El mapa con las coordenadas del edif. Ferrocarriles Chimbacalle se encuentra en el Anexo 1

2.2. EQUIPOS

Tabla 1 Descripción de los equipos empleados con sus respectivas marcas y modelos

Equipo	Marca	Modelo
Balanza analítica precisión 0,0001 g	Mettler Toledo	ML 204
Equipo de envejecimiento artificial	BIOBASE	BJPX- A450
Espectrofotómetro de absorción atómica	Perkin Elmer	Aanalyst 400
Horno	Memmert	SM 200
Humificador ultrasónico	YADU	-
Mufla	-	-
Pipeta automática 100-1000 µL	Pipette	-
Pipeta automática 10-100 µL	CAPP	-
Pipeta automática 1-5mL	CAPP	-

Plancha de calentamiento	-	MS 100
--------------------------	---	--------

2.3. MATERIALES

- Agitadores de vidrio
- Balones de aforo de 25mL, 50mL y 100mL
- Brazo con muelle
- Buretas de 50mL
- Cápsulas de porcelana
- Crisoles con tapas
- Desecador de sílica gel
- Embudos de vidrio
- Erlenmeyers de 100mL
- Espátulas metálicas
- Papel filtro (porosidad media)
- Pera de succión
- Piceta
- Pinzas de crisol
- Pinzas para vaso
- Pipeta graduada
- Pipeta volumétrica
- Pipetas Pasteur
- Probetas de 10mL, 25mL, 50mL y 100mL
- Soporte universal
- Triángulos de porcelana
- Trípode
- Tubos cónicos Falcon 50mL
- Vasos de precipitación 50mL, 100mL, 250mL y 400mL
- Vidrios de reloj

2.4. REACTIVOS

Tabla 2 Descripción de los reactivos empleados con sus respectivas; pureza, marca y concentración

Reactivo	Pureza	Marca	Concentración
Acetileno	99,9%	Linde	-
Ácido clorhídrico concentrado	Grado reactivo	Merck	199
			12
			14
			0,1 M
			1 M
Ácido nítrico concentrado	Grado reactivo	J.T. Baker	-
Agua desionizada conductividad 0,055 uS/cm	-	-	-
Agua destilada	-	-	-
Aire	99,9%	Linde	-
Anaranjado de metilo	-	BDH	0,1% m/v
Carbonato de calcio	Grado	Fischer Scientific	0,1 M

	reactivo		
Cloruro de amonio sólido	Grado reactivo	Loba Chemie	0
Cloruro de bario	Grado reactivo	Sigma-Aldrich	10% m/v
Cloruro de cesio	Grado reactivo	Sigma-Aldrich	2% m/v
Cloruro de sodio	Grado reactivo	AMP	0,1 N
Dicromato de potasio	-	Baker Analyzed	0,2 M
Estándar de calcio en 2-5% de ácido nítrico	-	AccuStandard, Inc	1000 ug/mL
Estándar de hierro en 2-5% de ácido nítrico	-	AccuStandard, Inc	1000 ug/mL
Estándar de magnesio en 2-5% de ácido nítrico	-	AccuStandard, Inc	1000 ug/mL
Estándar de sodio en 2-5% de ácido nítrico	-	AccuStandard, Inc	1000 ug/mL
Fenolftaleína en solución etanólica	-	BDH	1% m/v
Fosfato di básico de amonio	Grado reactivo	Panreac	10% m/v
Hidróxido de amonio concentrado	Grado reactivo	Merck	11
			120
			concentrado
Nitrato de amonio	Grado reactivo	Merck	1% m/v
Nitrato de plata	Grado reactivo	Merck	0,1 N
Rojo de metilo en solución etanólica	-	BDH	0,1% m/v

2.5. ENVEJECIMIENTO DEL ADOBE

El envejecimiento de los ladrillos de adobe se realizó usando la cámara de envejecimiento acelerado, con el control de: condiciones como la humedad, la temperatura y la radiación UV. Las condiciones y el tiempo de envejecimiento fueron determinados mediante el software Solver, desarrollado por el Ing. Alarcón en la PUCE (Sistemas Y Computación Análisis et al., 2017). El programa funciona mediante un algoritmo que determina las condiciones de los ciclos de envejecimiento. Cada ciclo fue constituido por tres partes; Primero, la cámara se mantuvo a 25°C durante 1200min con una humedad relativa del 70%. Segundo, la cámara se acondicionó a 35°C con humedad relativa del 50% durante 800min. Tercero, la cámara tuvo condiciones de 20°C con humedad relativa del 50% por 1250min. (Pazos Castillo, 2018). La radiación a la que se vieron expuestas las muestras dependió de; la radiación emitida por las seis lámparas (4050 W/m²), la temperatura de la cámara y las condiciones de heliofanía (Cárdenas Freire & Cárdenas Freire, 2010). Esta última se refiere a el período de exposición directa a la radiación y sin nubosidad 36 (Zambrano et al., 2022). En función de las condiciones empleadas se consideró que un período de 77 días del material dentro de la cámara de envejecimiento corresponde al paso de 20 años (Pazos Castillo, 2018).

2.6. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras fueron pulverizadas, homogeneizadas y almacenadas, con el fin de reducir el tamaño de partícula promedio, esto permitió muestrear el mismo número de partículas con una masa combinada más manejable (Ichikawa & Nakamura, 2016). La homogeneización de las muestras, por su parte permitió tener resultados representativos (Markert, 1995). Finalmente, las muestras fueron almacenadas en un lugar fresco y seco, dentro de bolsas plásticas selladas herméticamente, con el fin de prevenir la pérdida o ganancia de humedad, lo que altera la composición química de sólido (El Kouali & Vergnaud, 1991); Asimismo se cuidó que las muestras no se encuentren expuestas al ambiente previo sus análisis.

2.7. ANÁLISIS GRAVIMÉTRICOS

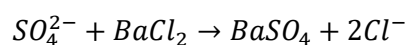
Los análisis gravimétricos determinan la cantidad presente de analito en una muestra, después de eliminar los interferentes de la misma. La cantidad de analito se representa en función de la cantidad de masa del componente específico en relación con la masa total de la muestra (Cairncross et al., 1994).

2.7.1. Determinación de Sulfatos

Método ASTM C114-07-15 Sulfur Tetraoxide.

1. Diluir 1g de muestra en 25mL de agua y 5mL de HCl concentrado. Se recomienda calentar el contenido por 10 minutos a ebullición para acelerar la disolución.

2. Filtrar la solución con papel filtro de poro mediano, lavar el residuo con 3 porciones de agua caliente y descartar el papel.
3. Aforar el filtrado a 250mL y volver a hervir la solución.
4. Preparar una solución de BaCl₂ 100g/L y calentar hasta la ebullición.
5. Agregar lentamente 10mL de la solución de BaCl₂ a la disolución aforada, manteniendo el calentamiento.
6. Hacer reposar la solución durante 10 minutos.
7. Agregar gotas de cloruro de bario en exceso para garantizar la precipitación completa.
8. Filtrar el precipitado con 15mL de agua hirviendo y papel filtro de poro mediano.
9. Colocar el papel filtro con el precipitado en un crisol de porcelana previamente tarado.
10. Calcinar a 800°C, enfriar en un desecador de sílica gel y pesar.



(Ecuación 3. Reacción de precipitación de los sulfatos con cloruro de bario)

$$\%SO_4^{2-} = \frac{(Peso\ Crisol\ con\ residuo - Peso\ Crisol)(Peso\ Molecular\ SO_4^{2-})}{(Peso\ Molecular\ BaSO_4)(Peso\ de\ la\ Muestra)} \times 100$$

(Ecuación 4. Cálculo del contenido de sulfatos en la muestra)

2.7.2. Determinación de Silicatos

Método ASTM C114-07-06 Silicon dioxide

1. En un vaso de precipitación colocar y mezclar 0,5g de muestra y 0,5g de cloruro de amonio.
2. Añadir 5mL de HCl concentrado por las paredes del vaso.
3. Cubrir el vaso de precipitación con un vidrio reloj.
4. Agregar 2 gotas de ácido nítrico concentrado.
5. Poner la muestra sobre una plancha de agitación y calentamiento a 80 °C durante 40 minutos.
6. Filtrar la muestra con papel filtro de poro mediano.
7. Enjuagar tres veces el vaso de precipitación, la varilla y el papel filtro con HCl caliente (1:99).
8. Lavar el papel filtro con agua caliente hasta estar seguro de que se haya eliminado todo el HCl del lavado anterior.
9. Colocar el papel filtro en un crisol previamente tarado.
10. Calcinar el sólido a 1100 °C durante 1 hora.
11. Enfriar el crisol en un desecador de sílica gel.
12. Pesar nuevamente el crisol.

$$\%SiO_4^{4-} = \frac{(Crisol + muestra calcinada) - crisol vacío}{Peso de la muestra} \times 100$$

(Ecuación 5. Cálculo del contenido de silicatos en la muestra)

2.7.3. Determinación de Óxido de Hierro

Método ASTM C114-07-18 Ferric oxide

1. En un vaso de precipitación colocar 1g de muestra con 10mL de agua.
2. Agregar 1mL de ácido nítrico concentrado y calentar la mezcla hasta ebullición.
3. Agregar agua caliente hasta que el volumen de la mezcla sea de 50mL.
4. Colocar la mezcla sobre una plancha de agitación.
5. Adicionar lentamente hidróxido de amonio concentrado hasta que exista la formación de un precipitado.
6. Colocar el vaso de precipitación sobre una plancha de agitación y calentamiento.
7. Esperar que la mezcla llegue a ebullición.
8. Sacar la mezcla de la plancha y dejar sedimentar el precipitado.
9. Filtrar la mezcla con papel filtro de poro mediano.
10. Lavar el precipitado con nitrato de amonio caliente al 1%.
11. Disolver el precipitado con 25mL de HCl (1:5) hirviendo, dejar que el ácido caiga gota a gota.
12. Lavar el papel con HCl (1:99) y agua caliente.
13. Colocar el papel filtro en un crisol previamente tarado.
14. Calcinar el sólido a 1100 °C durante 1 hora.
15. Enfriar el crisol en un desecador de sílica gel.
16. Pesar nuevamente el crisol.

$$\%Fe_2O_3 = \frac{(Crisol + residuo) - Crisol}{Peso de la muestra} \times 100$$

(Ecuación 6. Cálculo del contenido de óxido de hierro en la muestra)

$$\%Fe = \frac{Peso Molecular Fe \times \%Fe_2O_3}{Peso Molecular Fe_2O_3}$$

(Ecuación 7. Cálculo del contenido de hierro en la muestra)

2.7.4. Determinación de Óxido de Calcio

Método ASTM C114-07-13 Calcium oxide

1. En un vaso de precipitación colocar y mezclar 0,5g de muestra y 0,5g de cloruro de amonio.
2. Añadir 5mL de HCl concentrado por las paredes del vaso.

3. Cubrir el vaso de precipitación con un vidrio reloj.
4. Calentar el vaso de precipitación tapado a 90 °C durante 1 hora con agitación constante.
5. Enjuagar tres veces el vaso de precipitación, la varilla y el papel filtro con HCl caliente (1:99).
6. Lavar el papel filtro con agua caliente hasta estar seguro de que se haya eliminado todo el HCl del lavado anterior.
7. Recoger los líquidos de lavado y filtrado en un solo recipiente.
8. Al filtrado agregar; 10mL de HCl concentrado, 50mL de hidróxido de amonio caliente y unas gotas de rojo de metilo.
9. Mantener la temperatura de la solución cercana a su punto de ebullición.
10. Agregar hidróxido de amonio (1:4) hasta que el indicador vire de rosa a amarillo.
11. Dejar que el precipitado repose durante 5 minutos.
12. Filtrar el precipitado con papel filtro de poro mediano, haciendo varios lavados con oxalato de amonio al 1%.
13. Disolver el contenido del papel filtro con 25mL de HCl (1:4) caliente.
14. Lavar el papel filtro con HCl al 1%. En caso de que encuentre aun residuos del precipitado en el papel filtro haga varios lavados con HCl concentrado.
15. Diluir la solución hasta que el volumen sea de 200mL.
16. Añadir 30mL de oxalato de amonio frio.
17. Calentar la solución a 90°C y añadir hidróxido de amonio gota a gota hasta que se dé el viraje del indicador.
18. Dejar reposar la solución durante 1 hora.
19. Filtrar el precipitado con papel filtro de poro mediano, hacer varios lavados con agua fría hasta que no quede residuos de oxalato.
20. Guardar el filtrado para la determinación de Óxido de Magnesio.
21. Colocar el papel filtro en un crisol previamente tarado.
22. Calcinar el sólido a 1100 °C durante 1 hora.
23. Enfriar el crisol en un desecador de sílica gel.
24. Pesar nuevamente el crisol.

$$\%CaO = \frac{(Crisol + residuo) - Crisol}{Peso\ de\ la\ Muestra} \times 100$$

(Ecuación 8. Cálculo del contenido de óxido de calcio en la muestra)

$$\%Ca = \frac{\%CaO \times Peso\ Molecular\ Ca}{Peso\ Molecular\ CaO}$$

(Ecuación 9. Cálculo del contenido de calcio en la muestra)

2.7.5. Determinación de Óxido de Magnesio

Método ASTM C114-07- 14 Magnesium oxide

1. Acidificar el filtrado, obtenido de la determinación de óxido de calcio, con HCl concentrado.
2. Colocar la solución en una plancha de calentamiento y ebulir la solución hasta que el volumen sea de 250mL.
3. Enfriar la solución a temperatura ambiente.
4. Añadir 10mL de fosfato dibásico de calcio
5. Agregar a la solución 30mL de hidróxido de amonio manteniendo agitación constante.
6. Dejar que la solución repose durante 8 horas en un ambiente frio.
7. Filtrar el precipitado con papel filtro de poro mediano.
8. Lavar el residuo con hidróxido de amonio (1:20) por 5 o 6 veces.
9. Colocar el papel filtro en un crisol previamente tarado.
10. Calcinar el sólido a 1100 °C durante 1 hora.
11. Enfriar el crisol en un desecador de sílica gel.
12. Pesarse nuevamente el crisol, considerando que lo obtenido es pirofosfato de magnesio.

$$\%MgO = \frac{[(Crisol + residuo) - Crisol] \times 2 \times \text{Peso Molecular } MgO}{\text{Peso de la Muestra} \times \text{Peso Molecular de } Mg_2P_2O_7} \times 100$$

(Ecuación 10. Cálculo del contenido de óxido de magnesio en la muestra)

$$\%Mg = \frac{\%MgO}{\text{Peso Molecular } MgO}$$

(Ecuación 11. Cálculo del contenido de magnesio en la muestra)

2.7.6. Determinación de Humedad

Método Tradicional de Secado en Estufa

1. Pesarse 1g de muestra en una cápsula de porcelana previamente tarada.
2. Secar la muestra en la estufa a 105 °C por 1 hora, hasta que toda el agua se haya eliminado.
3. Enfriar la cápsula en un desecador de sílica gel.
4. Pesarse nuevamente la cápsula de porcelana.

$$\%Humedad = \frac{(Cápsula + muestra) - (Cápsula + muestra seca)}{\text{Peso de muestra}} \times 100$$

(Ecuación 12. Cálculo del contenido de humedad en la muestra)

2.7.7. Determinación de Pérdida por Calcinación

Método ASTM C114-07-16 loss on ignition

1. Pesar 2,5g de muestra en un crisol previamente tarado.
2. Colocar el crisol en la mufla a 905 °C durante 2 horas.
3. Enfriar el crisol en un desecador de sílica gel.
4. Pesar nuevamente el crisol.

$$\%Pérdida\ por\ Calcinación = \frac{(Crisol + muestra) - (Crisol + muestra\ calcinada)}{Peso\ de\ la\ muestra} \times 100$$

(Ecuación 13. Cálculo del contenido de materia orgánica en la muestra)

2.8. ANÁLISIS VOLUMÉTRICOS

En los análisis volumétricos consisten en la medición del volumen de una solución de concentración conocida con el fin de determinar la concentración desconocida de un analito (Noyes, 1910).

2.8.1. Determinación de Carbonatos y Bicarbonatos

Método ASTM C carbonates and bicarbonates

1. Secar 2,5g de muestra en una estufa a 110°C durante 1 hora.
2. Enfriar el crisol en el desecador de sílica gel.
3. Transferir 1g de muestra seca a un matraz de 100mL.
4. Disolver la muestra con 80mL de agua destilada.
5. Calentar la solución a 80°C durante 1 hora con agitación constante.
6. Filtrar la solución con un papel filtro de poro mediano.
7. Transferir la solución a un balón de 100mL y aforarla.
8. Recoger una alícuota de 20mL de la solución en un Erlenmeyer.
9. Añadir 2 gotas de anaranjado de metilo a la solución.
10. Valorar la solución con HCl 0,1M hasta que el indicador vire a un color anaranjado-rojizo para carbonatos.
11. Recoger una alícuota de 20mL de la solución en un Erlenmeyer.
12. Agregar al Erlenmeyer 20mL de hidróxido de sodio 0,1M y 10mL de una solución de cloruro de bario al 10%.
13. Añadir 3 gotas de fenolftaleína a la solución.
14. Realizar una retro-titulación con HCl 0,1M.
15. Hacer el blanco con 20mL de agua destilada, 20mL de hidróxido de sodio 0,1M y 10mL de una solución de cloruro de bario al 10%.
16. Calcular el exceso de HCl empleado que corresponde a los bicarbonatos.

$$\%Alcalinidad\ Total = \frac{[HCl] \times Fc \times Volumen\ HCl \times 2 \times PM\ CO_3^{2-} \times Volumen\ de\ aforo}{1000 \times Volumen\ de\ Alícuota \times Peso\ de\ la\ Muestra} \times 100$$

(Ecuación 14. Cálculo del contenido de alcalinidad total en la muestra)

$$\%HCO_3^- = \frac{[HCl] \times Fc \times (VHCl \text{ muestra} - VHCl \text{ blanco}) \times Volumen \text{ aforo} \times PM \text{ HCO}_3^-}{1000 \times Volumen \text{ de Alícuota} \times Peso \text{ de la Muestra}} \times 100$$

(Ecuación 15. Cálculo del contenido de bicarbonatos en la muestra)

$$\%CO_3^{2-} = \%Alcalinidad \text{ Total} - \%HCO_3^-$$

(Ecuación 16. Cálculo del contenido de carbonatos en la muestra)

2.8.2. Determinación de Cloruros

Método ASTM C144-07-19 chloride

1. Preparar soluciones 0,1N de nitrato de plata y 0,1N de cloruro de sodio.
2. Valorar la solución de nitrato de plata con la solución de cloruro de sodio. Utilizar cromato de potasio como indicador.
3. En un vaso de precipitación colocar 5g de muestra pulverizada con 50mL de agua.
4. Agitar y calentar la solución durante 1 hora por debajo del punto de ebullición.
5. Filtrar la solución con un papel filtro de poro mediano.
6. Colocar unas gotas de indicador de cromato de potasio a la solución filtrada.
7. Llenar la bureta con la solución de nitrato de plata.
8. Titular la solución producto del filtrado hasta observar un precipitado de color café-rojizo que indica el punto de equivalencia.
9. Anotar el volumen de nitrato de palta empleado en la titulación.

$$\%Cl^- = \frac{[AgNO_3] \times Fc \times Volumen \text{ AgNO}_3 \times Volumen \text{ de Aforo} \times Peso \text{ Molecular } Cl^-}{1000 \times Volumen \text{ de Alícuota} \times Peso \text{ de la Muestra}} \times 100$$

(Ecuación 17. Cálculo del contenido de cloruros en la muestra)

2.9. DETERMINACIÓN DE CATIONES MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Método validado de Standard Methods, Ed. 12, 2012, 3111 B. EPA 3051

1. Colocar en un vaso de precipitación 1g de muestra y 20mL de agua desionizada.
2. Mezclar bien la solución con una varilla de vidrio.
3. Agregar 5mL de HCl concentrado a la solución.
4. Diluir la solución a 50mL.
5. Calentar la disolución durante 20 minutos.
6. Enfriar la solución y filtrar con papel filtro de poro mediano.
7. Hacer tres lavados al papel con agua caliente.
8. Aforar la solución a 100mL con agua desionizada.

2.9.1. Curvas de Calibración

Las curvas de calibración se realizan a partir de los estándares de sodio, calcio, hierro y magnesio.

En el caso de la preparación de las muestras y los estándares de sodio se debe añadir cloruro de cesio.

En el caso de la preparación de las muestras y los estándares de calcio y magnesio añadir óxido de lantano.

Tabla 3 Concentración de los estándares para la curva de calibración del hierro

Estándar	Concentración (mg/L)
1	0,3
2	1,0
3	3,0
4	5,0

Tabla 4 Concentración de los estándares para la curva de calibración del calcio

Estándar	Concentración (mg/L)
1	0,5
2	1,0
3	2,0
4	4,0

Tabla 5 Concentración de los estándares para la curva de calibración del magnesio

Estándar	Concentración (mg/L)
1	0,25
2	0,50
3	0,75
4	1,00
5	1,25

Tabla 6 Concentración de los estándares para la curva de calibración del sodio

Estándar	Concentración (mg/L)
1	0,100
2	0,125
3	0,250
4	0,500

Tabla 7 Condiciones Experimentales del Equipo de Absorción Atómica

Metales	Parámetros			
	Longitud de onda (nm)	Energía de la lámpara	Comburente	Combustible
Hierro	302,06	80	Aire	Acetileno
Calcio	422,67	66	Aire	Acetileno
Magnesio	202,58	21	Aire	Acetileno
Sodio	589,00	86	Aire	Acetileno

2.10. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La difracción de rayos X (XRD) se utiliza principalmente para caracterizar las propiedades de los materiales, como la estructura cristalina, el tamaño de los cristalitas y la tensión. Debido al uso generalizado de XRD, su aplicación en la investigación farmacéutica está aumentando. El principio de funcionamiento de XRD es la ecuación de Bragg, que se puede describir mediante la reflexión de un haz de rayos X colimado incidente en el plano cristalino de la muestra que se va a caracterizar (Bunaciu et al., 2015). XRD se basa en la dispersión elástica de gran angular, que se usa comúnmente para sustancias ordenadas (especialmente sustancias cristalinas ordenadas de largo alcance) y no es adecuada para sustancias desordenadas. El haz de rayos X atraviesa la muestra y es dispersado o difundido por los átomos en el camino de rayos X que se está estudiando. La interferencia debida a la dispersión mutua de rayos X se observa utilizando la ley de Bragg con detectores colocados adecuadamente, y se determinan las propiedades de la estructura cristalina del material (Soni et al., 2019).

Esta ley relaciona la longitud de onda de la radiación electromagnética con el ángulo de difracción y el espaciado de la red en una muestra cristalina. Estos rayos X dispersos luego se detectan, procesan y cuentan. Al escanear la muestra en el rango de ángulo de 2θ , debido a la orientación aleatoria del material en polvo, se deben alcanzar todas las direcciones de difracción posibles de la rejilla. La conversión de los picos de difracción a espacio d permite la

identificación de compuestos, ya que cada compuesto tiene un conjunto único de espacios d. Un difractómetro de rayos X consta de tres elementos básicos: un tubo de rayos X, un portamuestras y un detector de rayos X (Jesche et al., 2016).

2.11. FLOURESCENCIA DE RAYOS X

La fluorescencia de rayos X es una técnica analítica no destructiva que se emplea para determinar la composición elemental de los materiales (*X-Ray Fluorescence – Rigaku EDXRF*, n.d.). La espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF) es un método analítico atómico bien establecido para el análisis químico cualitativo y cuantitativo de muestras ambientales en varias matrices y una amplia gama de elementos, que pueden variar de B a U en número atómico. XRF proporciona resultados de análisis de elementos múltiples rápidos y no destructivos con sensibilidades en el rango de 10^8 (según el elemento de interés), lo que lo hace adecuado para la mayoría de los estudios ambientales (Marguí et al., 2022).

Las lámparas de rayos X controladas irradian muestras sólidas o líquidas con rayos X de alta energía. Cuando los átomos en la muestra son golpeados por rayos X de suficiente energía (mayor que la energía de enlace de las capas K o L de los átomos), los electrones son eliminados de una de las capas orbitales internas de los átomos. El átomo vuelve a la estabilidad y llena las vacantes restantes en la capa orbital interna con electrones de una de las capas orbitales de mayor energía del átomo. Los electrones caen al estado de energía más bajo, liberando rayos X fluorescentes. La energía de este rayo X es igual a la diferencia de energía específica entre los dos estados cuánticos del electrón. Medir esta energía es la base del análisis XFR (Marguí et al., 2022; Towett et al., 2013).

3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los valores obtenidos del análisis de cada uno de los parámetros. Estos se encuentran organizados en; aniones, cationes, humedad, calcinación y óxidos. Los datos de concentración en porcentaje o mg/g, presentan un promedio debido a que todos los análisis se realizaron por triplicado, en cada matriz, y cada año. Además, se incluyen las desviaciones estándar de los resultados.

En las tablas se presentan los valores encontrados tras 0 y 20 años de envejecimiento. Además, de que existe una separación entre las muestras de material original con las de material modificado, nombrado recubrimiento. Así mismo, cada tabla viene acompañada por las líneas de tendencia que permiten visualizar de mejor manera el comportamiento de cada componente con el pasar del tiempo. Dichas figuras, también facilitan la comparación entre los dos tipos de adobe estudiados.

3.1. ANIONES

3.1.1. Sulfatos

Tabla 8 Contenido de sulfatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Adobe Forma		
Envejecimiento (años)	0	20
Sulfatos (%)	0,18	0,41
	0,16	0,43
	0,15	0,41
Promedio (%)	0,16	0,42
SD (%)	0,0153	0,0115
Recubrimiento Adobe		
Envejecimiento (años)	0	20
Sulfatos (%)	0,11	0,39
	0,12	0,40
	0,14	0,37
Promedio (%)	0,12	0,39
SD (%)	0,0153	0,0153

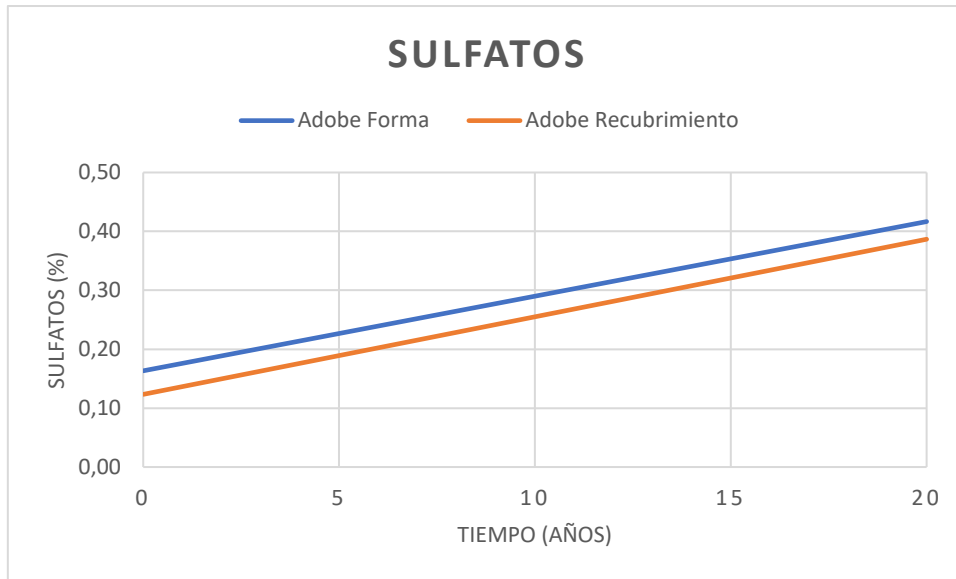


Figura 2 Líneas de tendencia sobre el contenido de sulfatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.1.2. Silicatos

Tabla 9 Contenido de silicatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Adobe Forma		
Envejecimiento (años)	0	20
Silicatos (%)	87,31	85,28
	87,25	85,24
	87,29	85,25
Promedio (%)	87,28	85,26
SD (%)	0,0306	0,0208
Recubrimiento Adobe		
Envejecimiento (años)	0	20
Silicatos (%)	86,21	85,12
	86,24	85,15
	86,23	85,09
Promedio (%)	86,23	85,12
SD (%)	0,0153	0,0300

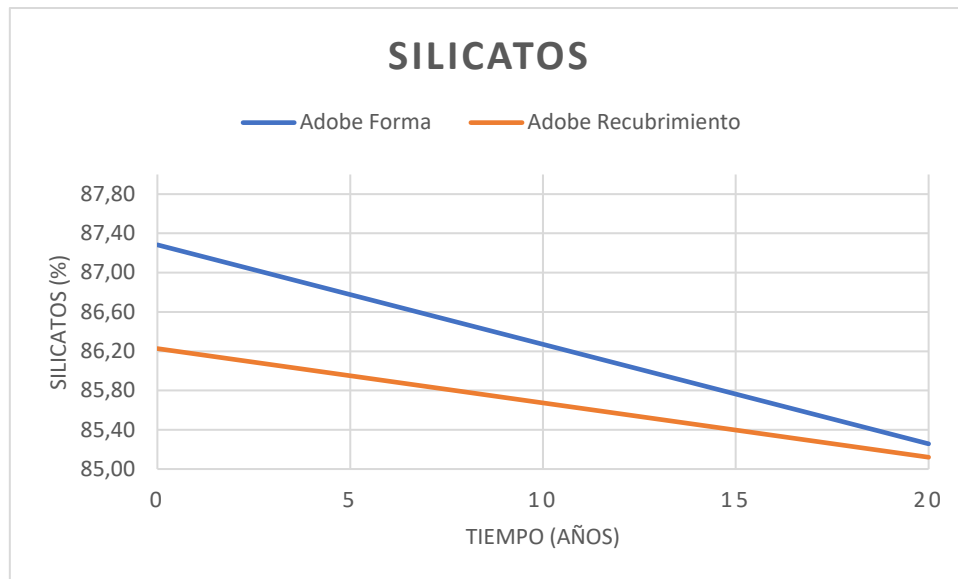


Figura 3 Líneas de tendencia sobre el contenido de silicatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.1.3. Carbonatos y Bicarbonatos

Tabla 10 Contenido de carbonatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Adobe Forma		
Envejecimiento (años)	0	20
Carbonatos (%)	0,87	0,66
	0,89	0,65
	0,91	0,66
Promedio (%)	0,89	0,66
SD (%)	0,0200	0,0058
Recubrimiento Adobe		
Envejecimiento (años)	0	20
Carbonatos (%)	1,21	1,10
	1,22	1,09
	1,24	1,12
Promedio (%)	1,22	1,10
SD (%)	0,0153	0,0153

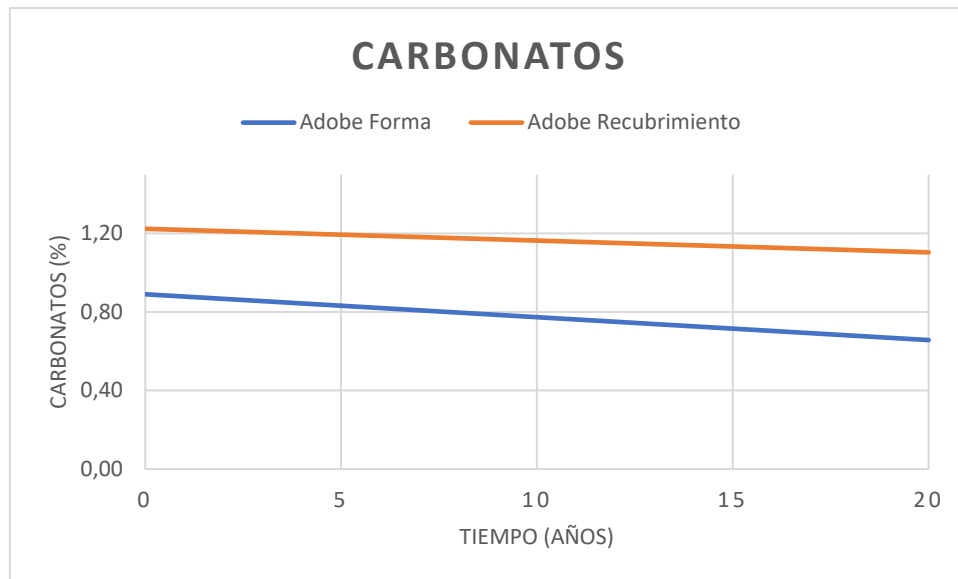


Figura 4 Líneas de tendencia sobre el contenido de carbonatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Tabla 11 Contenido de bicarbonatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Adobe Forma		
Envejecimiento (años)	0	20
Bicarbonatos (%)	0,65	1,30
	0,64	1,26
	0,62	1,22
Promedio (%)	0,64	1,26
SD (%)	0,0153	0,0400
Recubrimiento Adobe		
Envejecimiento (años)	0	20
Bicarbonatos (%)	0,98	1,51
	0,96	1,50
	0,99	1,49
Promedio (%)	0,98	1,50
SD (%)	0,0153	0,0100

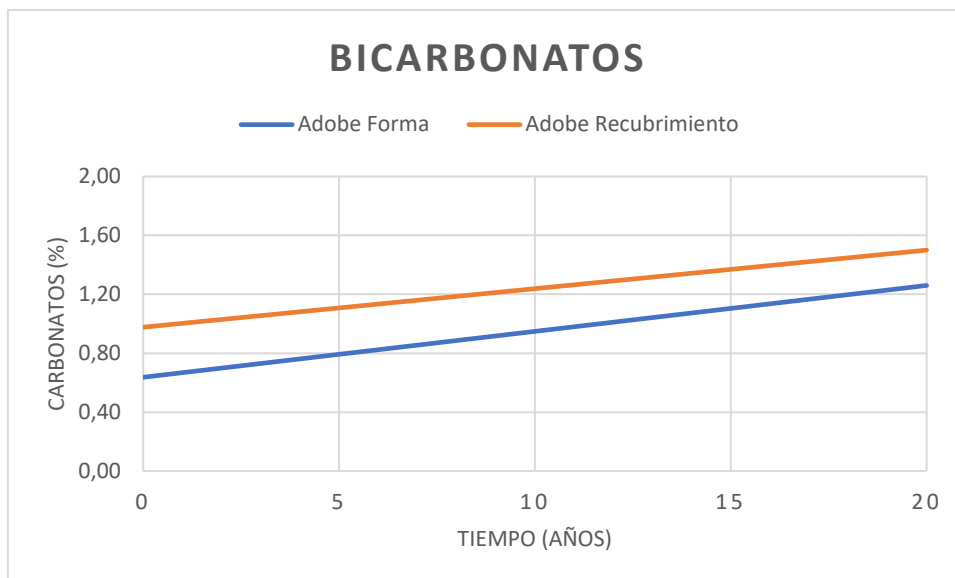


Figura 5 Líneas de tendencia sobre el contenido de bicarbonatos en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.1.4. Resultados de Cloruros

Tabla 12 Contenido de cloruros en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Adobe Forma		
Envejecimiento (años)	0	20
Cloruros (%)	0,25	0,11
	0,23	0,12
	0,21	0,11
Promedio (%)	0,23	0,11
SD (%)	0,0200	0,0058
Recubrimiento Adobe		
Envejecimiento (años)	0	20
Cloruros (%)	0,14	0,18
	0,15	0,19
	0,15	0,17
Promedio (%)	0,15	0,18
SD (%)	0,0058	0,0100

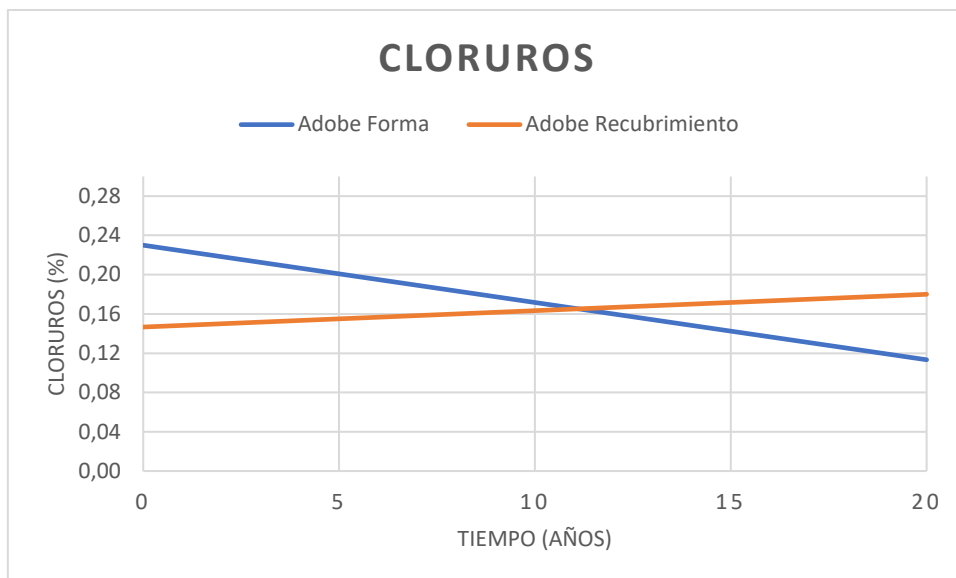


Figura 6 Líneas de tendencia sobre el contenido de cloruros en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.2. CATIONES

3.2.1. Hierro

Tabla 13 Contenido de hierro en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Curva de Calibración	
Concentración (ug/mL)	Absorbancia (A)
0,051	0,003
0,239	0,025
0,760	0,085
1,247	0,140
Adobe de la forma	
0 años de envejecimiento	
3,236	0,368
20 años de envejecimiento	
3,978	0,453
Recubrimiento	
0 años de envejecimiento	
3,367	0,383
20 años de envejecimiento	
3,830	0,436

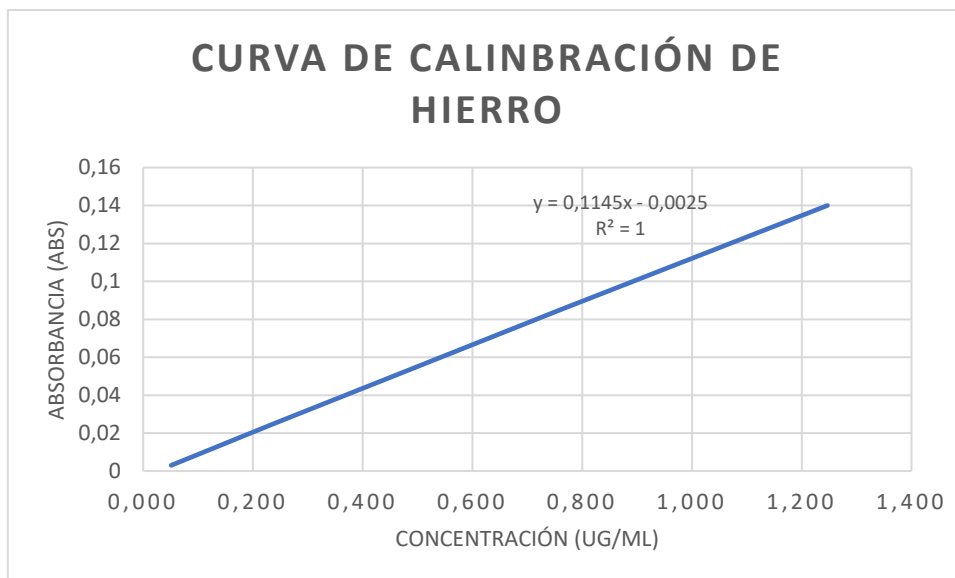


Figura 7 Líneas de tendencia sobre el contenido de hierro en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.2.2. Calcio

Tabla 14 Contenido de calcio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Curva de Calibración	
Concentración (ug/mL)	Absorbancia (A)
0,498	0,014
1,002	0,028
2,033	0,057
3,983	0,112
Adobe de la forma	
0 años de envejecimiento	
3,135	0,088
20 años de envejecimiento	
3,206	0,090
Recubrimiento	
0 años de envejecimiento	
3,242	0,091
20 años de envejecimiento	
3,384	0,095

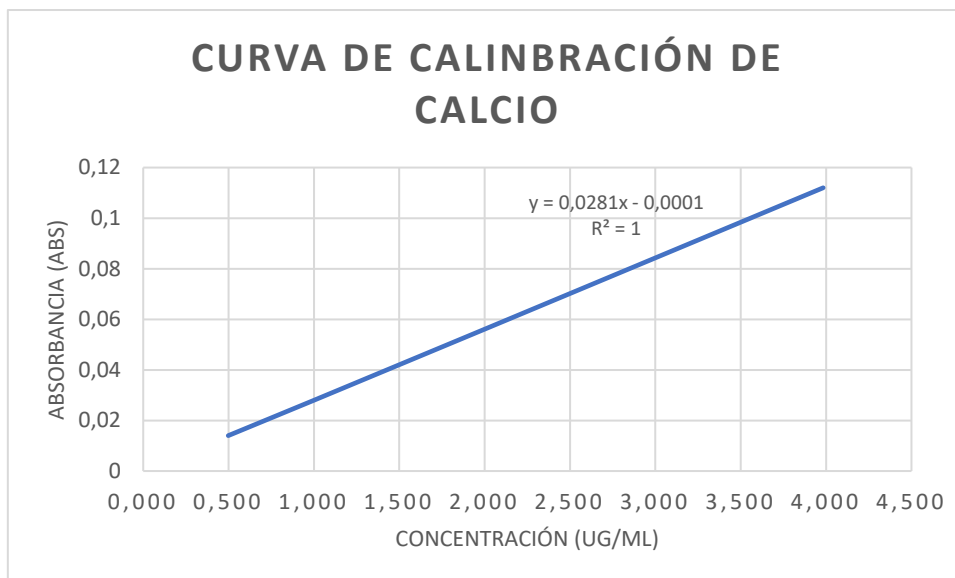


Figura 8 Líneas de tendencia sobre el contenido de calcio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.2.3. Magnesio

Tabla 15 Contenido de magnesio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Curva de Calibración	
Concentración (ug/mL)	Absorbancia (A)
0,222	0,08
0,407	0,187
0,658	0,331
0,751	0,384
1,547	0,842
Adobe de la forma	
0 años de envejecimiento	
0,688	0,348
20 años de envejecimiento	
0,677	0,342
Recubrimiento	
0 años de envejecimiento	
0,416	0,192
20 años de envejecimiento	
0,479	0,228

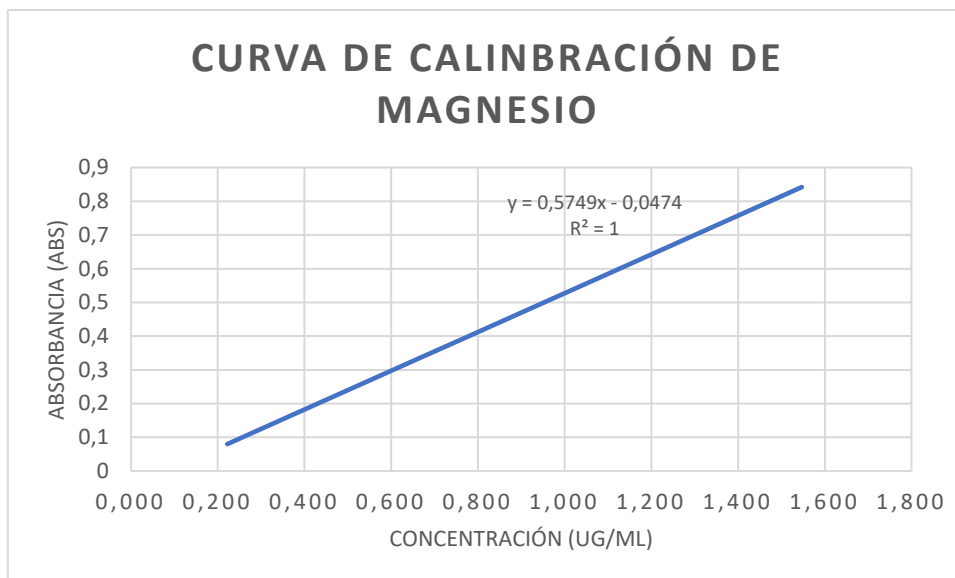


Figura 9 Líneas de tendencia sobre el contenido magnesio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.2.4. Sodio

Tabla 16 Contenido de sodio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Curva de Calibración	
Concentración (ug/mL)	Absorbancia (A)
0,083	0,024
0,085	0,027
0,133	0,065
0,572	0,416
Adobe de la forma	
0 años de envejecimiento	
1,372	0,178
20 años de envejecimiento	
1,460	0,192
Recubrimiento	
0 años de envejecimiento	
1,122	0,138
20 años de envejecimiento	
1,141	0,141

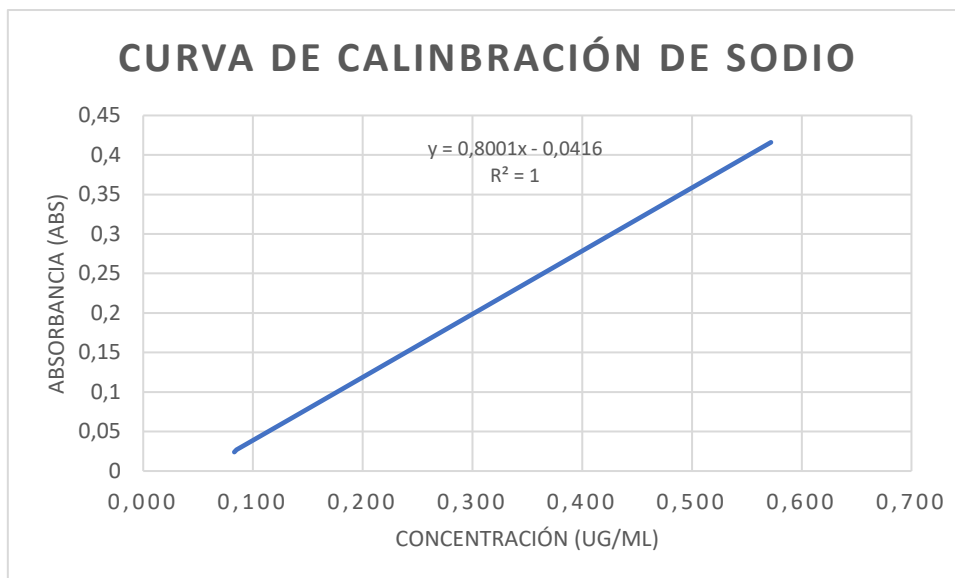


Figura 10 Líneas de tendencia sobre el contenido de sodio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.3. HUMEDAD

Tabla 17 Contenido de humedad en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Adobe Forma		
Envejecimiento (años)	0	20
Humedad (%)	1,50	2,64
	1,49	2,69
	1,52	2,65
Promedio (%)	1,50	2,66
SD (%)	0,0153	0,0265
Recubrimiento Adobe		
Envejecimiento (años)	0	20
Humedad (%)	1,47	2,21
	1,43	2,22
	1,48	2,25
Promedio (%)	1,46	2,23
SD (%)	0,0265	0,0208

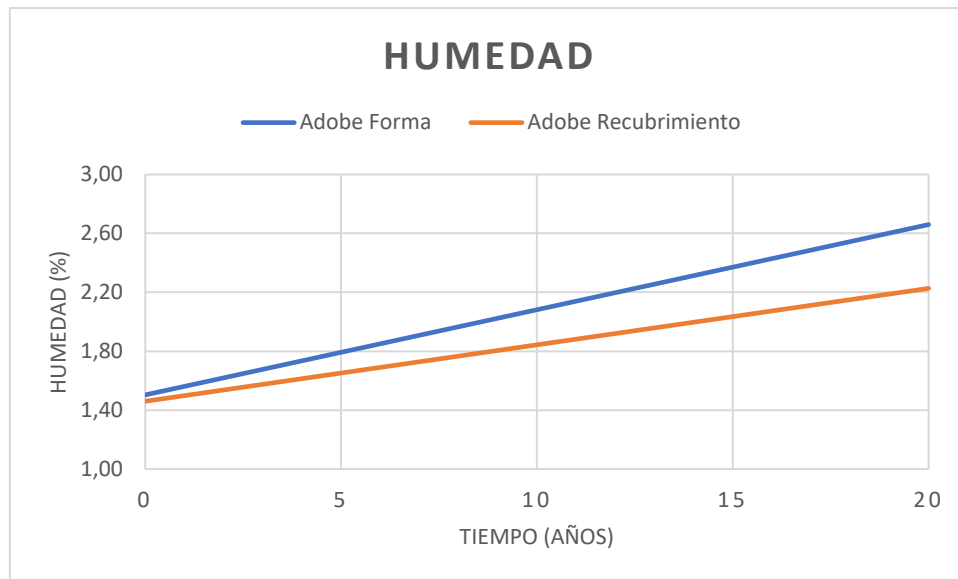


Figura 11 Líneas de tendencia sobre el contenido de humedad en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.4. PÉRDIDA POR CALCINACIÓN

Tabla 18 Contenido de materia orgánica en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Adobe Forma		
Envejecimiento (años)	0	20
Materia Orgánica (%)	4,41	4,00
	4,39	4,02
	4,42	3,99
Promedio (%)	4,41	4,00
SD (%)	0,0153	0,0153
Recubrimiento Adobe		
Envejecimiento (años)	0	20
Materia Orgánica (%)	4,73	4,13
	4,75	4,15
	4,79	4,14
Promedio (%)	4,76	4,14
SD (%)	0,0306	0,0100

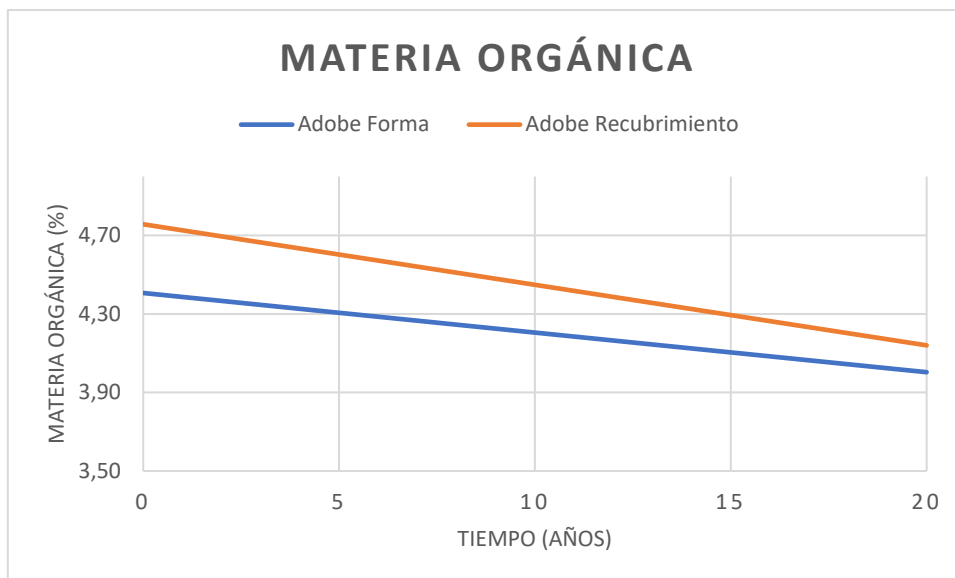


Figura 12 Líneas de tendencia sobre el contenido de materia orgánica en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.5. ÓXIDOS

3.5.1. Óxido de Hierro

Tabla 19 Contenido de óxido de hierro en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Adobe Forma		
Envejecimiento (años)	0	20
Óxido de Hierro (%)	6,71	4,25
	6,69	4,29
	6,66	4,27
Promedio (%)	6,69	4,27
SD (%)	0,0252	0,0200
Recubrimiento Adobe		
Envejecimiento (años)	0	20
Óxido de Hierro (%)	9,17	4,05
	9,16	4,00
	9,21	4,02
Promedio (%)	9,18	4,02
SD (%)	0,0265	0,0252

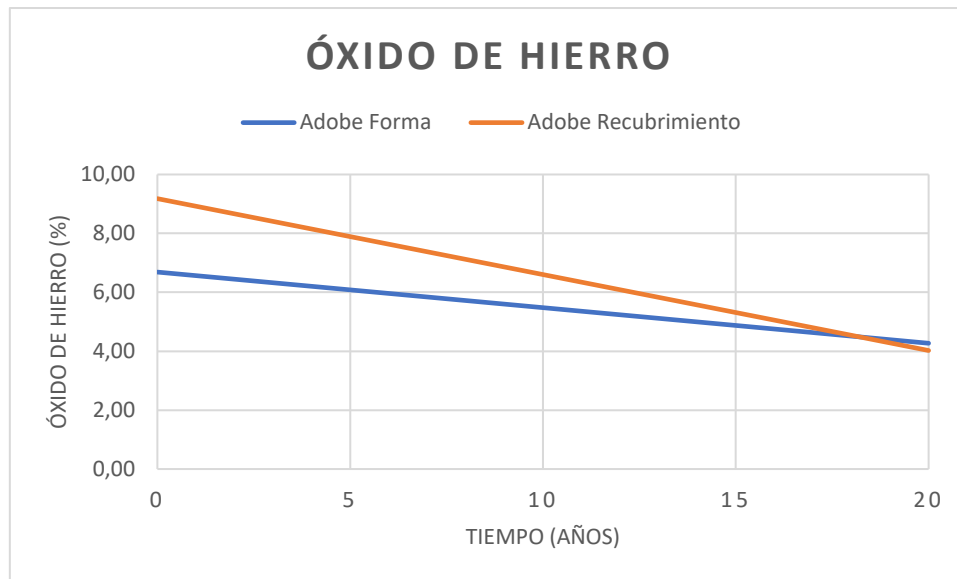


Figura 13 Líneas de tendencia sobre el contenido de óxido de hierro orgánica en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.5.2. Óxido de Calcio

Tabla 20 Contenido de óxido de calcio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Adobe Forma		
Envejecimiento (años)	0	20
Óxido de Calcio (%)	0,49	0,28
	0,46	0,25
	0,50	0,26
Promedio (%)	0,48	0,26
SD (%)	0,0208	0,0153
Recubrimiento Adobe		
Envejecimiento (años)	0	20
Óxido de Calcio (%)	1,75	0,99
	1,72	1,00
	1,71	0,98
Promedio (%)	1,73	0,99
SD (%)	0,0208	0,0100

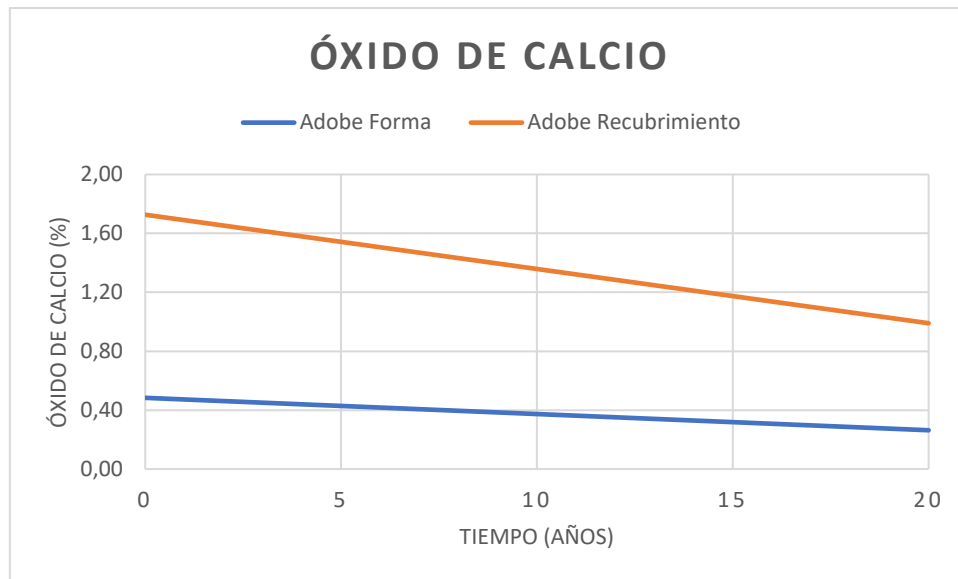


Figura 14 Líneas de tendencia sobre el contenido de óxido de calcio orgánica en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.5.3. Óxido de Magnesio

Tabla 21 Contenido de óxido de magnesio en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

Adobe Forma		
Envejecimiento (años)	0	20
Óxido de Magnesio (%)	0,39	0,41
	0,36	0,37
	0,37	0,38
Promedio (%)	0,37	0,39
SD (%)	0,0153	0,0208
Recubrimiento Adobe		
Envejecimiento (años)	0	20
Óxido de Magnesio (%)	0,69	0,64
	0,71	0,63
	0,70	0,64
Promedio (%)	0,70	0,64
SD (%)	0,0100	0,0058

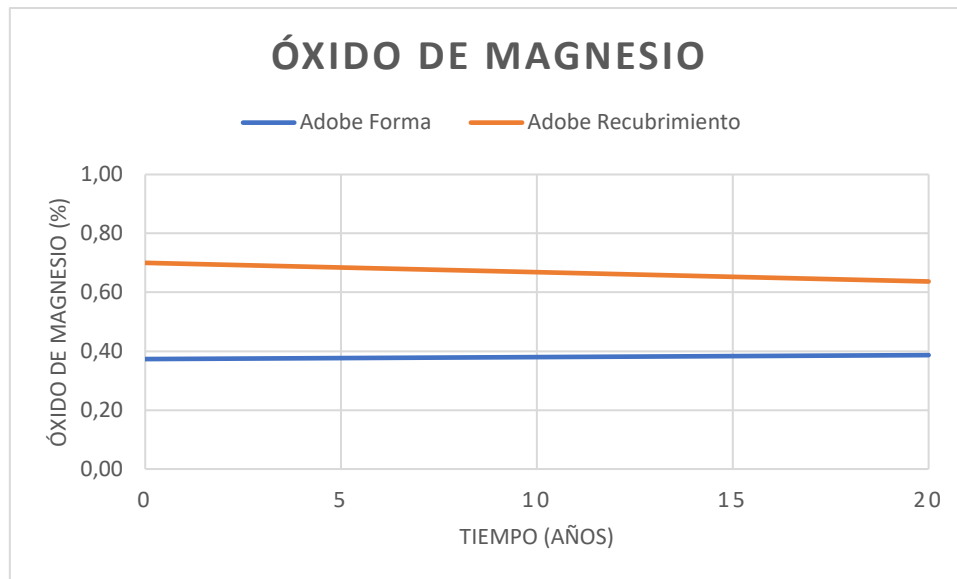


Figura 15 Líneas de tendencia sobre el contenido de óxido de magnesio orgánica en las muestras de adobe forma y recubrimiento del Centro Histórico de Quito tras 0 y 20 años de envejecimiento

3.6. FLUORESCENCIA DE RAYOS X

El análisis químico de las muestras se determinó en el equipo de Fluorescencia de Rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Pluss.

Tabla 22 Resultados del análisis de fluorescencia de rayos X de las muestras de; adobe de forma y recubrimiento a los 0 años de envejecimiento

Elemento	Adobe formán año 0	Recubrimiento año 0	Óxido	Adobe formán año 0	Recubrimiento año 0
	Contenido %	Contenido %		Contenido %	Contenido %
Si	28,18	25,23	SiO ₂	60,3	53,98
Al	6,64	6,15	Al ₂ O ₃	12,54	11,63
Fe	3,72	3,95	Fe ₂ O ₃	5,32	5,64
Ca	3,19	3,31	CaO	4,47	4,63
Na	1,58	1,22	Na ₂ O	2,13	1,64
K	1,31	1,28	K ₂ O	1,58	1,54
Mg	0,72	0,49	MgO	1,19	0,82
Ti	0,31	0,34	TiO ₂	0,52	0,57
P	0,11	0,09	P ₂ O ₅	0,24	0,2
Ba	0,07	0,11	BaO	0,08	0,12
Mn	0,06	0,1	MnO	0,08	0,12
Sr	0,05	0,06	SrO	0,06	0,07
Zr	0,02	0,02	ZrO ₂	0,02	0,02

V	0,01	-	V ₂ O ₅	0,03	-
Cl	0,04	0,03			
S	0,04	0,06			

NOTA: La muestra fue analizada mediante pastilla prensada, por lo cual los resultados son semi-cuantitativos. Los resultados se expresan como óxidos, mediante cálculo estequiométrico a partir del análisis elemental (FRX).

Tabla 23 Resultados del análisis de fluorescencia de rayos X de las muestras de; adobe de forma y recubrimiento tras 20 años de envejecimiento

Elemento	Recubrimiento año 20	Adobe de forma año 20	Óxido	Recubrimiento año 20	Adobe de forma año 20
	Contenido %	Contenido %		Contenido %	Contenido %
Si	25,91	27,56	SiO ₂	55,42	58,96
Al	6,35	7,32	Al ₂ O ₃	12	13,83
Fe	3,91	4,34	Fe ₂ O ₃	5,59	6,2
Ca	3,46	3,30	CaO	4,84	4,62
Na	1,26	1,77	Na ₂ O	1,69	2,38
K	1,23	1,12	K ₂ O	1,49	1,35
Mg	0,59	0,70	MgO	0,98	1,17
Ti	0,36	0,39	TiO ₂	0,6	0,64
P	0,12	0,10	P ₂ O ₅	0,14	0,12
Ba	0,07	0,10	BaO	0,16	0,23
Mn	0,06	0,07	MnO	0,08	0,09
Sr	0,06	0,05	SrO	0,07	0,06
Zr	0,02	0,02	ZrO ₂	0,03	0,03
V	0,01	-	V ₂ O ₅	0,02	-
Zn	-	0,01	ZNO	-	0,01
Cl	0,06	0,06			
S	0,04	0,05			

NOTA: La muestra fue analizada mediante pastilla prensada, por lo cual los resultados son semi-cuantitativos. Los resultados se expresan como óxidos, mediante cálculo estequiométrico a partir del análisis elemental (FRX).

3.7. DIFRACCIÓN DE RAYOS

La determinación de los compuestos con cristalización definida presentes en las muestras se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCED y el programa Diffrac plus (EVA Y TOPAS) para cualificación y semi-cuantificación.

Tabla 24 Resultados del análisis de difracción de rayos X para determinación de los compuestos con cristalización definida

Mineral	Formula	Adobe de forma año 0	Recubrimiento año 0	Recubrimiento año 20	Adobe de forma año 20
		Contenido %	Contenido %	Contenido %	Contenido %
Grupo Plagioclasas	(Na,Ca)Al(Si,Al) Si ₂ O ₈	92	93	88	90
Cuarzo	SiO ₂	2	2	4	2
Cordierita	Mg ₂ Al ₄ Si ₅ O ₁₈	2	1	3	3
Hematita	Fe ₂ O ₃	2	2	2	3
Fayalita	Fe ₂ SiO ₄	1	1	2	1
Heculandita	(Na,Ca) _{2,5} Al(Al,Si) ₂ Si ₁₃ O ₃₆ .12H ₂ O	1	1	1	1

NOTA: El límite de detección del equipo empleado es del 1% para compuestos con cristalización definida. Las muestras presentan material amorfo no cuantificado por esta técnica de análisis.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La comprensión de los fenómenos por los cuales atravesó el material durante el proceso envejecimiento se da mediante el análisis de la variación de las tendencias de cada uno de los componentes. Cabe mencionar que el bloque de adobe empleado en los análisis es el mismo en todos los casos.

4.1. ANIONES

4.1.1. Sulfatos

La concentración de sulfatos (SO_4^-) se determinó por un método gravimétrico que emplea BaCl_2 como agente precipitante. Mismo que está sujeto a varias fuentes de error entre las que destacan; errores en el pesaje, la precipitación incompleta, la remoción de interferencias y las fallas en la filtración (Shanmugavadivu et al., 2006). Además, de que al igual que todos los métodos gravimétricos también puede afectarse por un mal proceso de tarado de los crisoles. A pesar de que las fuentes de error en el método son varias; se trató de minimizarlo mediante la adición de BaCl_2 en exceso para asegurar que la precipitación sea completa.

En la figura 2 se puede observar la línea de tendencia que muestra un aumento de la concentración de sulfatos en el adobe de forma y el recubrimiento con el pasar del tiempo. Para encontrar la razón del aumento de la concentración de sulfatos en el material se analizaron varios puntos. Primero, el ingreso de SO_2 atmosférico a la muestra, factor que es poco probable debido al cierre hermético que tiene la máquina (Meagher et al., 1983). Segundo, los sulfatos tienden a atacar a los materiales porosos, como es el caso del adobe. De hecho, mientras más poroso es el material hay una mayor penetración de los sulfatos y por ende un mayor ataque químico. Los sulfatos en contacto con la humedad del ambiente tienden a sufrir cristalizaciones sucesivas. Lo que hace que el tamaño del poro del material aumente y por ende se fracture (El-Hachem et al., 2012).

El aumento de la concentración de sulfatos a través del tiempo se puede deber a que estos penetran el material de fuera hacia dentro. Es decir, desde los bordes hacia el interior de este. Además, la línea de tendencia de la figura 2 muestra que el contenido y el aumento de sulfatos es mayor en el adobe de forma que en el recubrimiento. Esto se debe a que el recubrimiento tiene los poros más saturados con la pintura blanca. Lo que hace que haya menos posibilidad de que ingresen sulfatos a los poros del material.

4.1.2. Silicatos

Dentro de los silicatos se tienen dos tipos de aniones analizados; SiO_4^{4-} y $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$. Los porcentajes del anión presentados en la tabla 7 muestran que estos son los más abundantes del material. Teniendo valores de 87,28% y 85,26% para el adobe de forma con 0 y 20 años de

envejecimiento, respectivamente, Además, de que para el recubrimiento estos tienen valores de 86,23% y 85,12% en los mismos periodos de envejecimiento. Al igual que el resto de los aniones, los silicatos también fueron determinados por gravimetría. El método empleado, se basa en la remoción de interferencias. Este es altamente preciso; la aseveración se evidencia en el análisis de los valores de variación de los resultados.

En la figura 3 se evidencia que la concentración de silicatos permanece casi constante durante todo el envejecimiento. Teniendo una mínima disminución, cerca de un punto porcentual. Esto se debe a que los silicatos cuentan con gran resistencia, inclusive en condiciones climáticas extremas. La notación de los silicatos en sus dos formas se debe a que el anión puede variar su distribución espacial, es decir su estructura; sin embargo, ambas estructuras son estables (Allothman, 2012). Al igual que en los otros casos, el contenido de silicatos dentro del material depende de factores climáticos como es el caso de la humedad (Chen et al., 2018). Dentro del adobe de forma y el recubrimiento se tiene una leve disminución de silicatos a lo largo del tiempo; comportamiento opuesto al de la humedad.

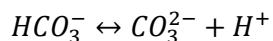
4.1.3. Carbonatos y Bicarbonatos

Los carbonatos y bicarbonatos (CO_3^{2-} y HCO_3^-) también son aniones de interés para el análisis de materiales. El análisis de estos aniones se hace en conjunto debido a que se encuentran en equilibrio. Es decir, la presencia de bicarbonatos influye la presencia de carbonatos y viceversa. Si bien la presencia de ambos aniones es $>1,5\%$ en todos los casos, el comportamiento entre estos y el desplazamiento del equilibrio puede proporcionar información de gran interés para comprender el fenómeno suscitado en el proceso de envejecimiento. La presencia de carbonatos y bicarbonatos fue mayor en el recubrimiento que en la muestra de adobe de forma. Esto se debe a que el recubrimiento es una muestra de adobe recubierto por una fina capa de pintura blanca. Las pinturas blancas tienen pequeñas cantidades de carbonato básico de plomo ($\text{Pb}(\text{CO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$) o también conocido como albayalde (Beauchemin et al., 2011)

Para la determinación de ambos aniones se empleó el método cuantitativo desarrollado por Vogel. Este consiste en valorar la alcalinidad total y la cantidad de bicarbonatos de forma separada. Donde, el contenido de carbonatos se determina por la diferencia de los dos parámetros antes analizados (Vogel, 1958). Si bien, el método ha sido útil a lo largo del tiempo; este presenta un gran problema. Dado que se asumen que la alcalinidad total proviene únicamente de estas especies. Sin embargo, esta también puede provenir de hidróxidos como; NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Por lo que la exactitud y la precisión se pueden ver afectadas.

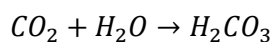
Tras el análisis de las líneas de tendencia de ambos aniones en las figuras 4 y 5, se evidencia que las especies tienen comportamientos opuestos. Por una parte, los carbonatos disminuyen con el envejecimiento en el adobe de forma y el recubrimiento; sin embargo, la disminución

más apreciable es de los 0 a los 5 años. A partir de estos últimos la disminución se empieza a reflejar casi que imperceptible en la línea de tendencia. Por otra parte, los bicarbonatos aumentan de forma apreciable en los primeros 5 años y posterior a este periodo de tiempo se tiene un aumento casi imperceptible.



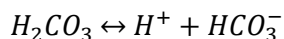
(Ecuación 18. Equilibrio entre los carbonatos y bicarbonatos)

Tomando en consideración la ecuación 19 se establece que el aumento de bicarbonatos y la pérdida de carbonatos se debe a una variación del pH en el medio. Dicha variación puede deberse a la absorción de dióxido de carbono proveniente de la descomposición de la materia orgánica. Mismo que al combinarse con la humedad de las muestras puede solubilizarse como un ácido débil (ácido carbónico).



(Ecuación 19. Reacción de formación del ácido carbónico)

El bicarbonato se descompone, liberando iones H^+ e iones bicarbonato. Lo que explica la disminución de los carbonatos que reaccionan con los iones libres para formar más iones bicarbonatos.



(Ecuación 20. Equilibrio entre el ácido carbónico y el bicarbonato)

A pesar de que la teoría planteada es bastante fuerte químicamente hablando, esta no es del todo aceptada. Para que esto suceda debe tomarse en cuenta la solubilidad del CO_2 en el agua. La cámara de envejecimiento artificial acelerado oscila en temperaturas de entre los $30^\circ C$ a los $40^\circ C$; temperatura a las cuales la solubilidad del dióxido de carbono es de entre 1 a 1,2 g/L. Es decir, las temperaturas elevadas no favorecen la solubilidad del CO_2 en el agua (Hemmati-Sarapardeh et al., 2020). Adicionalmente, no se tiene la certeza de que el dióxido de carbono producido por la degradación de la materia orgánica fue suficiente como para infiltrarse y probar la teoría antes propuesta.

4.1.4. Cloruros

El porcentaje de cloruros es menor de 0,25% en todos los casos. El anión cloruro está directamente relacionado con la intemperie salina del medio. Es por esta razón, que la concentración de cloruros es mayor en las zonas costeras que en las zonas andinas (K. Li et al., 2023). Los aniones cloruro tienen gran afinidad por el agua, por lo que la humedad del ambiente también puede afectar su presencia. En realidad, se puede determinar que ambas variables son inversamente proporcionales. Es decir, a mayor cantidad de humedad menor concentración de

cloruros. Esto se debe a que la humedad de la cámara es lo suficientemente alta como para extraer a los cloruros del material y suspenderlo en la atmósfera en forma de microgotas (Mi et al., 2023).

Así mismo, es preciso destacar que el centro histórico de Quito al estar ubicado a 2800 msnm. no tiene mayor influencia sobre posibles problemas generados por los cloruros como la oxidación y la corrosión del adobe (Mi et al., 2023). De esta forma se explica que no existen diferencias significativas entre la concentración de cloruros del adobe de forma y el recubrimiento a través del tiempo y entre ellos.

La concentración de iones cloruro se determinó a través del método de Mohr. Con el cual se obtuvieron coeficientes de variación de 8,70% y 5,27% para el adobe de forma en 0 y 20 años de envejecimiento, respectivamente. Y, valores de coeficiente de variación de 3,86% y 5,56% para el recubrimiento en 0 y 20 años de envejecimiento, respectivamente. La exactitud fue determinada mediante un estándar de cloruro de sodio, presentándose un error relativo de 2,80%. Lo que indica que la variación de los resultados puede deberse a efectos causados por la matriz.

4.2. CATIONES

El análisis de cationes dentro de las muestras fue realizado mediante la técnica de absorción atómica de llama.

4.2.1. Hierro

La concentración de hierro determinada mediante absorción atómica es de 3,236 y 3,978 ug/mL para el adobe de forma envejecido a 0 y 20 años, respectivamente. Mientras que tiene valores de 3,367 y 3,830 ug/mL para el recubrimiento con un envejecimiento de 0 y 20 años, respectivamente. La concentración del metal obtenida mediante el análisis de difracción de rayos X por su parte brinda valores de concentración de 3,72; 4,34; 3,91 y 3,95% para la muestra de adobe de forma y recubrimiento envejecidas a 0 y 20 años, respectivamente. Evidentemente, los valores de los resultados no se encuentran muy distantes entre sí. Lo que significa que ambas técnicas brindan resultados aceptables. Sin embargo, el análisis de difracción de rayos X presenta una mayor precisión (Srinivasan, 1995).

Así mismo, es evidente que la concentración de Fe aumenta en las muestras con el pasar del tiempo. El incremento del metal dentro de la muestra puede deberse al cambio de color que presenta el material. Es decir, a medida que la muestra envejece esta se torna de color más naranja-marrón, que se debe a la presencia de hierro dentro de la misma. Así mismo, es propicio mencionar que se esperaría una disminución de Fe en la muestra si tras el envejecimiento esta se hubiera tornado de colores grisáceos (C. Costa et al., 2019). Así mismo, con los valores de

contenido de hierro dentro del adobe se puede determinar que no se trata de un tipo de adobe rico en hierro, dado que la concentración del metal no es mayor al 10% (GUINN, 1897).

4.2.2. Calcio

La concentración de calcio determinada mediante absorción atómica es de 3,135 y 3,206 ug/mL para el adobe de forma envejecido a 0 y 20 años, respectivamente. Mientras que tiene valores de 3,242 y 3,384 ug/mL para el recubrimiento con un envejecimiento de 0 y 20 años, respectivamente. La concentración del metal obtenida mediante el análisis de difracción de rayos X por su parte brinda valores de concentración de 3,19; 3,30; 3,31 y 3,46% para la muestra de adobe de forma y recubrimiento envejecidas a 0 y 20 años, respectivamente. Evidentemente, los valores de los resultados no se encuentran muy distantes entre sí. Lo que significa que ambas técnicas brindan resultados aceptables. Sin embargo, el análisis de difracción de rayos X presenta una mayor precisión (Srinivasan, 1995).

Además, es evidente que la concentración de Ca incrementa en ambas muestras a medida que envejecen. Y, la concentración de calcio dentro del recubrimiento es aún mayor en el recubrimiento que en el adobe de forma. Esto puede deberse a que la muestra de recubrimiento cuenta con una capa de pintura blanca que contiene carbonato de calcio (Lv et al., 2022). Cabe destacar que el aumento de la concentración de calcio dentro de la muestra no es bueno, dado que causa una caída de la resistencia a la compresión por el aumento de la porosidad (Betancourt et al., 2007). La porosidad viene de la presencia de grietas o microfisuras por la expansión del óxido de calcio sin combinar que se hidrata en presencia de la humedad (Elert et al., 2003).

4.2.3. Magnesio

La concentración de calcio determinada mediante absorción atómica es de 0,688 y 0,677 ug/mL para el adobe de forma envejecido a 0 y 20 años, respectivamente. Mientras que tiene valores de 0,416 y 0,479 ug/mL para el recubrimiento con un envejecimiento de 0 y 20 años, respectivamente. La concentración del metal obtenida mediante el análisis de difracción de rayos X por su parte brinda valores de concentración de 0,72; 0,70; 0,49 y 0,59% para la muestra de adobe de forma y recubrimiento envejecidas a 0 y 20 años, respectivamente. Evidentemente, los valores de los resultados no se encuentran muy distantes entre sí. Lo que significa que ambas técnicas brindan resultados aceptables. Sin embargo, el análisis de difracción de rayos X presenta una mayor precisión (Srinivasan, 1995).

La disminución de la concentración de Mg en la muestra de adobe repercute negativamente en sus propiedades, dado que la durabilidad, y la resistencia a la abrasión y la corrosión (Yartys et al., 2019). Mientras que el aumento en la concentración de magnesio en el recubrimiento se puede deber que la capa de pintura blanca contiene carbonato de magnesio. Mismo que con el

pasar del tiempo deja de formar parte del carbonato por la descomposición de este y va quedando como Mg en forma elemental dentro del material (Staski & Reiter, 2016). Si bien, no se tiene un incremento considerable de magnesio dentro de los ladrillos de adobe, la presencia de este puede resultar peligroso por su gran capacidad de inflamarse. No obstante, tampoco se puede hacer un recubrimiento libre de magnesio, dado que este metal le provee de resistencia ante la corrosión al material (Truong et al., 2000).

4.2.4. Sodio

La concentración de calcio determinada mediante absorción atómica es de 1,372 y 1,460 ug/mL para el adobe de forma envejecido a 0 y 20 años, respectivamente. Mientras que tiene valores de 1,122 y 1,141 ug/mL para el recubrimiento con un envejecimiento de 0 y 20 años, respectivamente. La concentración del metal obtenida mediante el análisis de difracción de rayos X por su parte brinda valores de concentración de 1,58; 1,77; 1,22 y 1,26% para la muestra de adobe de forma y recubrimiento envejecidas a 0 y 20 años, respectivamente. Evidentemente, los valores de los resultados no se encuentran muy distantes entre sí. Lo que significa que ambas técnicas brindan resultados aceptables. Sin embargo, el análisis de difracción de rayos X presenta una mayor precisión (Srinivasan, 1995).

En ambos casos es evidente que la concentración de sodio de la muestra aumenta con su envejecimiento. El aumento de la concentración de sodio puede deberse a la evaporación del agua. De forma general, el sodio viene asociado al NaCl que se emplea para la producción de ladrillos. El aumento del contenido de sal viene ligado al aumento del contenido de agua en la mampostería del ladrillo. En la mampostería, la sal se disuelve y se mueve junto con el agua a través de los poros capilares. En condiciones climáticas secas y cálidas, el agua se evapora y la sal se cristaliza. La cristalización de sales en los poros capilares produce una presión interior y puede causar deterioro y eflorescencia del ladrillo (Pungercar & Musso, n.d.). La eliminación del agua tras el envejecimiento puede deberse al efecto de la temperatura y la radiación que aumentan con el paso del tiempo. Además, dentro de la cámara de envejecimiento no se tiene la certeza de que el agua que se evapora alcance a recircular en el periodo de tiempo establecido.

4.3. HUMEDAD

El contenido de humedad es uno de los parámetros más importantes respecto al comportamiento del adobe formado y recubrimiento. Este se expresa en porcentaje y se determina mediante la pérdida de peso que sufre la muestra tras someterse a una combinación tiempo-temperatura adecuada. Inicialmente, se esperaba un aumento en la humedad de los materiales, dado que dentro de la cámara de envejecimiento fluía vapor de agua de forma constante gracias al humificador ultrasónico. No obstante, los resultados no fueron exactamente los esperados. En el caso del adobe, el contenido de

humedad se define como el porcentaje de agua presente en la mezcla de tierra, agua y excremento animal (McHenry, 1985). En la tabla 17 se muestra que el porcentaje de humedad para el recubrimiento es de 1,46% y 2,23% en 0 y 20 años, respectivamente. Mientras que los valores de humedad del adobe de forma en los mismos tiempos son de 1,50% y 2,66%.

Si se observa la figura 11 es evidente que el porcentaje de humedad en el recubrimiento disminuye con el pasar del tiempo. Resultado que es lógico considerando que el incremento de la radiación y la temperatura disminuyen la cantidad de agua encapsulada dentro del material (Zonno., et al, 2019). Mientras que en el caso de la muestra de adobe de forma se observa una tendencia de aumento de la humedad con el pasar del tiempo. La muestra de adobe fue sometida a parámetros de temperatura y radiación específicos en un período de 20 años. En un inicio la radiación y la temperatura hicieron que el agua contenida en el material se eliminase al ambiente; lo que causó fisuras de contracción por secado (Avendaño Monsalve, 2008). El agua que se encontraba dentro de la cámara de envejecimiento tuvo que recircular de alguna manera por lo que se infiltró en los nuevos poros y grietas del material. Esto se debe a que el adobe tiene la capacidad de capturar por completo a las moléculas de agua en estado gaseoso mediante adsorción. Lo que lo vuelve un material hidrofílico e higroscópico por el aumento de agua dentro del mismo (Straube, 2006).

4.4. PÉRDIDA POR CALCINACIÓN

El análisis de pérdida por calcinación se llevó a cabo con el fin de determinar la cantidad de materia orgánica en el adobe de forma y el recubrimiento. Como se observa en la tabla 18, en general el contenido de materia orgánica es superior al 4,00%. Esto se debe a que el adobe se forma a partir de suelos que son ricos en residuos de hongos, plantas y animales. Además, de que tradicionalmente se usaban como aditivos del adobe a la paja y al estiércol para aumentar la resistencia a la tensión (Vasić et al., 2020).

En ambos casos se observa una disminución de la cantidad de materia orgánica del material con el pasar del tiempo. Esto puede deberse a un fenómeno denominado foto-degradación. La foto-degradación es el proceso por medio del cual la materia orgánica se descompone a causa de la radiación. Debido a que la radiación solar en presencia del oxígeno de la atmósfera crea un ambiente oxidante sumamente poderoso (Puls et al., 2011). Esta se considera la mejor explicación para la disminución de la materia orgánica del material debido a que la ciudad de Quito tiene un nivel de radiación alto todo el año en comparación del mundo.

Otro factor importante para considerar es la humedad a la que se expone el material. La humedad propicia las condiciones apropiadas para que los microorganismos se propaguen alimentándose de la materia orgánica que compone el adobe (Brito et al., 2023) A pesar de que la humedad coadyuva a la biodegradación, esta no es tan alta dado a la posición geográfica de la ciudad de Quito.

Para la determinación de materia orgánica del material se empleó un análisis termogravimétrico indirecto. Cabe mencionar, además, que este método se ve sujeto a un error por la volatilización de otros componentes en altas temperaturas. No obstante, las interferencias por humedad se lograron reducir mediante un proceso de pre-secado de las muestras en la estufa.

4.5. ÓXIDOS

Los óxidos se forman por la unión del oxígeno con algún catión, es decir cualquier tipo de metal (Trasatti, 1991)

4.5.1. Óxido de Hierro

El hierro se puede encontrar formando dos tipos de óxidos; el óxido férrico (Fe_2O_3) y el óxido ferroso (FeO). La presencia del metal en forma de óxidos es representativa en los materiales cuya materia prima proviene de suelos arcillosos. Mismos que son ricos en minerales que contienen hierro (Habuda-Stanić et al., 2008). Para la determinación de óxido de hierro se empleó un método gravimétrico en donde el hierro presente en la muestra se oxida en su totalidad a Fe^{3+} . El metal completamente oxidado precipita en forma de hidróxido tras la adición de amoníaco (NH_3). Si bien, el método es de utilidad, este presenta algunas desventajas como; que el precipitado es un coloide. Por lo que se tiene un proceso de filtración bastante largo y complejo, y se corre el riesgo de que el producto sufra una peptización. Otro de los problemas que presenta el método es la presencia de interferentes, entre los que se encuentran óxidos del mismo número de oxidación como es del caso del óxido de aluminio (Al_2O_3). A pesar de que no tiene el mismo número de oxidación, el óxido de manganeso (MnO) también suele ser un interferente. La presencia de estos interferentes en la determinación de óxido de hierro acarrea consigo un falso positivo, sobreestimándose la cantidad de la sustancia analizada (Conrad, 1957).

Los resultados de la tabla 17 muestran que la concentración de óxido de hierro disminuye aproximadamente a la mitad de su valor tras 20 años de envejecimiento. En términos generales, el óxido de hierro es bastante resistente a condiciones climáticas fuertes de temperatura, radiación y humedad (Bibring et al., 2007). Por lo que no se esperaba una disminución tan brusca de la concentración del óxido en las muestras. Sin embargo, el tamaño de las partículas de óxido de hierro es tan pequeño, $<500\text{nm}$, que pueden dispersarse fácilmente (Takada, 1958). La posible explicación a este fenómeno es que las pequeñas partículas de óxido de hierro se

hayan perdido en el ambiente al momento de la manipulación de las muestras; tomando en cuenta que por su tamaño tienden a ser extremadamente livianas. En función de los resultados también se puede acotar que el material pierde resistencia, dado que los óxidos de este metal ayudan a que la resistencia del adobe aumente significativamente.

4.5.2. Óxido de Calcio

El óxido de calcio (CaO), al igual que los óxidos de hierro, también provienen de los minerales del suelo. Para el estudio de este óxido también se usó un método gravimétrico en donde el calcio precipita en forma de oxalato en medio básico. Como se presenta en la tabla NNN la pérdida de concentración de óxido de calcio en ambas muestras es casi imperceptible tras 20 años de envejecimiento. La mínima pérdida de CaO puede deberse a la manipulación de la muestra. O a su vez, al incremento de la humedad dentro de la muestra, debido a que la humedad es capaz de disminuir las fuerzas de cohesión del CaO y sus compuestos comunes como el carbonato de calcio CaCO_3 y el hidróxido del mismo metal Ca(OH)_2 (Pawlak-Kruczek et al., 2018). En la tabla 18 se muestra que la pérdida de concentración del óxido de calcio es más notoria en la muestra de recubrimiento que en la de adobe de forma. Esto se debe a que gran parte del contenido de calcio de la muestra se encontraba en la pintura blanca. Donde, el calcio se adiciona en forma de carbonato de calcio para dar un efecto blanco y mate (Ersoy et al., 2021). Evidentemente, la pintura se desprendía del material con el pasar del tiempo, lo que dejó a la muestra de adobe al natural, justificándose la pronunciada disminución de la concentración de CaO en la muestra de recubrimiento.

Además, es propicio mencionar que los óxidos de hierro (FeO y Fe_2O_3) pueden ser considerados un interferente de importancia, en caso de que no hayan sido removidos correctamente. Así mismo, las precipitaciones pueden tener errores en caso de que el pH no sea el adecuado. Por lo que es importante emplear un indicador de pH, como el rojo de metilo (Pressler et al., 1956). No obstante, la precisión del método puede verse afectada a pesar de que se hayan cuidado todos los parámetros antes mencionados.

4.5.3. Óxido de Magnesio

El óxido de magnesio (MgO), también proviene de los minerales del suelo. Para la determinación de la concentración de este óxido se empleó un método gravimétrico. Este consta de la precipitación de magnesio en forma de pirofosfato y la cantidad de óxido se determina a través de estequiometría. Tanto el calcio como el magnesio pertenecen al grupo de los metales alcalinotérreos, por lo que se esperaba que tuviesen un comportamiento similar. No obstante, el óxido de magnesio no tiene un comportamiento claro. Por un lado, la muestra de adobe de forma presenta un aumento en su concentración. Por otro lado, en la muestra de recubrimiento se evidencia una disminución de la concentración a la mitad del valor original. El

comportamiento peculiar del óxido de magnesio se debe a la baja resistencia de este contra el agua. El MgO al estar en contacto con la humedad del ambiente reacciona formando hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Esta última especie química tiende a reaccionar con el dióxido de carbono (CO_2), mediante un proceso de absorción. Lo que pudo haber sido la principal razón de la variación del óxido de magnesio en las muestras (Anderson et al., n.d.).

La presencia de tantas especies químicas dentro de la muestra también pudo haber influido en la concentración del óxido de magnesio. Debido a que en la precipitación pudo haber ocurrido un proceso incorrecto de remoción de interferentes como; los óxidos de hierro y calcio. Por este motivo es correcto aseverar que las variaciones pueden deberse a errores experimentales (Gao et al., 2013).

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se corroboró que los factores climáticos; radiación UV, temperatura y humedad afectan a la composición química del adobe del Centro Histórico de Quito. Lo antes mencionado se logró mediante la exposición de las muestras de adobe de forma y recubrimiento a una cámara de envejecimiento artificial acelerado (AA) y a su posterior análisis químicos cuantitativo. Entre las alteraciones químicas encontradas las más apreciables son; la fluctuación del porcentaje de humedad dentro de las muestras, la pérdida del óxido de hierro que brinda resistencia al material y el desplazamiento del equilibrio químico entre los carbonatos y los bicarbonatos.

La aplicación de los ciclos climáticos permitió simular el envejecimiento de 20 años del adobe empleado en las construcciones del centro histórico de Quito. Previo realizar los análisis químicos, ya era evidente un cambio de propiedades físicas y químicas dentro del material. Dado que, visualmente ya se identificó un deterioro del material.

La composición química de las muestras fue determinada mediante análisis gravimétricos, volumétricos y de espectrofotometría. Mismos que permitieron cuantificar la concentración de aniones, cationes, humedad, materia orgánica y óxidos del adobe. Cabe destacar que el análisis de espectrofotometría, absorción atómica, tuvo una precisión y exactitud superior a la de los análisis volumétricos y gravimétricos. Sin embargo, su precisión y exactitud fueron superadas por el análisis de fluorescencia y difracción de Rayos X.

Las líneas de tendencia fueron de gran utilidad para observar las fluctuaciones y variaciones de la concentración de cada uno de los componentes de la muestra de adobe con el pasar del tiempo. Donde, el tiempo de envejecimiento tuvo una influencia distinta en cada uno de los casos. Demostrándose así que la capa de pintura blanca que se usó para el recubrimiento no protege de forma considerable al adobe de su deterioro.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda tomar en cuenta la información obtenida en este documento acerca de los análisis del adobe. Con el fin de que el material empleado para la restauración del centro histórico de Quito sea químicamente compatible con el adobe.

La comparación entre fenómenos químicos y físicos puede coadyuvar a establecer conexiones entre ambos para adquirir mayor conocimiento sobre el deterioro completo de los materiales, y así prevenir su envejecimiento.

Es de suma importancia que se tomen medidas de restauración para conservar el patrimonio del centro histórico de Quito. En el caso del adobe original y modificado es pertinente considerar métodos de impermeabilización de materiales, o a su vez se puede determinar un proceso de reforzado de las estructuras.

Además, se plantea como alternativa para tener una mejor comprensión sobre el material, el uso de microscopía electrónica TEM o SEM. Esto con el fin de comprender de mejor manera los poros del adobe y el recubrimiento y que así se vuelvan más evidentes los efectos de saturación de los poros y la pérdida de resistencia del material.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abu Al-Rub, R. K., Darabi, M. K., Kim, S. M., Little, D. N., & Glover, C. J. (2013). Mechanistic-based constitutive modeling of oxidative aging in aging-susceptible materials and its effect on the damage potential of asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, *41*, 439–454. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.12.044>
- Accelerated Aging: Photochemical and Thermal Aspects - Robert L. Feller - Google Books.* (n.d.). Retrieved March 27, 2023, from [https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=wp1OAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Feller,+R.+L.+\(1995\).+Accelerated+aging:+photochemical+and+thermal+aspects.+Getty++Publications.&ots=8RoubEshoD&sig=PGWWBBBBb0rFjd52r4-HzWINhpgI&redir_esc=y#v=onepage&q=Feller%2C%20R.%20L.%20\(1995\).%20Accele%20rated%20aging%3A%20photochemical%20and%20thermal%20aspects.%20Getty%20%20Publications.&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=wp1OAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Feller,+R.+L.+(1995).+Accelerated+aging:+photochemical+and+thermal+aspects.+Getty++Publications.&ots=8RoubEshoD&sig=PGWWBBBBb0rFjd52r4-HzWINhpgI&redir_esc=y#v=onepage&q=Feller%2C%20R.%20L.%20(1995).%20Accele%20rated%20aging%3A%20photochemical%20and%20thermal%20aspects.%20Getty%20%20Publications.&f=false)
- Allothman, Z. A. (2012). A Review: Fundamental Aspects of Silicate Mesoporous Materials. *Materials* 2012, Vol. 5, Pages 2874-2902, 5(12), 2874–2902. <https://doi.org/10.3390/MA5122874>
- Anderson, P. J., Horlock, R. F., & Oliver, J. F. (n.d.). *Interaction of Water with the Magnesium Oxide Surface.*
- Avendaño Monsalve, C. M. (2008). *Estudio descriptivo de la fisuración en muros vaciados en hormigón.* <https://doi.org/10.1/JQUERY.MIN.JS>
- Ayers, P. W., Parr, R. G., & Nagy, A. (2002). Local kinetic energy and local temperature in the density-functional theory of electronic structure. *International Journal of Quantum Chemistry*, *90*(1), 309–326. <https://doi.org/10.1002/QUA.989>
- Barnett, S. A., & Shinn, M. (2003). Plastic and Elastic Properties of Compositionally Modulated Thin Films. <https://doi.org/10.1146/Annurev.Ms.24.080194.002405>, *24*(1), 481–511. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.MS.24.080194.002405>
- Beauchemin, S., MacLean, L. C. W., & Rasmussen, P. E. (2011). Lead speciation in indoor dust: A case study to assess old paint contribution in a Canadian urban house. *Environmental Geochemistry and Health*, *33*(4), 343–352. <https://doi.org/10.1007/S10653-011-9380-8/METRICS>
- Betancourt, D., Martirena, F., Day, R., & Diaz, Y. (2007). Influencia de la adición de carbonato de calcio en la eficiencia energética de la producción de ladrillos de cerámica roja. *Revista*

Ingeniería de Construcción, 22(3), 187–196. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732007000300005>

Bibring, J. P., Arvidson, R. E., Gendrin, A., Gondet, B., Langevin, Y., Le Mouelic, S., Mangold, N., Morris, R. V., Mustard, J. F., Poulet, F., Quantin, C., & Sotin, C. (2007). Coupled ferric oxides and sulfates on the martian surface. *Science*, 317(5842), 1206–1210. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1144174/SUPPL_FILE/BIBRING.SOM.PDF

Bragg, W. L. (1930). The structure of silicates. *Nature*, 125(3152), 510–511. <https://doi.org/10.1038/125510A0>

Brito, M. R., Júnior, S. A. D., Azevedo, A. R. G., & Marvila, M. T. (2023). *Evaluation of the Durability of Adobe Bricks Made with Cattle Manure*. 403–410. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22576-5_40/COVER

Brown, P. W., & Clifton, J. R. (2014). ADOBE I: THE PROPERTIES OF ADOBE. <Http://Dx.Doi.Org/10.1179/Sic.1978.019>, 23(4), 139–146. <https://doi.org/10.1179/SIC.1978.019>

Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. <Http://Dx.Doi.Org/10.1080/10408347.2014.949616>, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>

Burgos-Vigna, D. (2017). Quito, a World Heritage City or a city to live in? <Http://Dx.Doi.Org/10.1080/13604813.2017.1374774>, 21(5), 550–567. <https://doi.org/10.1080/13604813.2017.1374774>

Cairncross, R. A., Limbert, A., Francis, L. F., & Scriven, L. E. (1994). Gravimetric Analysis of Drying Sol-Gel Derived Coatings and Comparison to Theory. *Sol-Gel Processing and Applications*, 111–118. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2570-7_11

Canar, R. L., Fontaine, A., Morillo, P. L., & El Yacoubi, S. (2020). Deep learning to implement a statistical weather forecast for the andean city of quito. *2020 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2020*. <https://doi.org/10.1109/ANDESCON50619.2020.9272106>

Capa, Á. B., Jiménez, R. M. R., Camacho, E., & Lozano, A. P. (2004). Adaptación de las previsiones meteorológicas de la televisión a los conocimientos del público. *Revista Tiempo y Clima*, 5(4). <https://pub.ame-web.org/index.php/TyC/article/view/635>

Cárdenas Freire, D. X., & Cárdenas Freire, D. X. (2010). *Diseño, construcción e implementación de un mecanismo localizador solar automático, montado en un sistema fotovoltaico para mantener la carga de una batería automotriz*. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/713>

- Chen, Z., He, X., Xiao, C., & Kim, S. H. (2018). Effect of Humidity on Friction and Wear—A Critical Review. *Lubricants* 2018, Vol. 6, Page 74, 6(3), 74.
<https://doi.org/10.3390/LUBRICANTS6030074>
- Chen, Z., & Lu, C. (2005). Humidity sensors: A review of materials and mechanisms. *Sensor Letters*, 3(4), 274–295. <https://doi.org/10.1166/SL.2005.045>
- Cheng, G. (n.d.). *Microbiotic Crusts Affects Ecohydrological Processes View project*
Connecting climate action with other Sustainable Development Goals View project.
<https://doi.org/10.1007/s10064-006-0040-7>
- Conrad, D. (1957). Spectrochemical Determination of Ferric Oxide and Silicon Dioxide in Alumina. *Applied Spectroscopy*, Vol. 11, Issue 2, Pp. 84-86, 11(2), 84–86.
<https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=as-11-2-84>
- Costa, C., Arduin, D., Rocha, F., & Velosa, A. (2019). Adobe Blocks in the Center of Portugal: Main Characteristics. <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1627442>, 15(3), 467–478.
<https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1627442>
- Costa, C., Cerqueira, Â., Rocha, F., & Velosa, A. (2018). The sustainability of adobe construction: past to future. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1459954>, 13(5), 639–647. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1459954>
- Costa, C. S., Rocha, F., Varum, H., & Velosa, A. (2013). Influence of the mineralogical composition on the properties of adobe blocks from Aveiro, Portugal. *Clay Minerals*, 48(5), 749–758. <https://doi.org/10.1180/CLAYMIN.2013.048.5.07>
- Cromack, K., Sollins, P., Todd, R. L., Crossley, D. A., Fender, W. M., Fogel, R., & Todd, A. W. (1977). *Soil Microorganism—Arthropod Interactions: Fungi as Major Calcium and Sodium Sources*. 78–84. https://doi.org/10.1007/978-3-642-88448-1_9
- Dhandhukia, P., Goswami, D., Thakor, P., & Thakker, J. N. (2013). Soil property apotheosis to corral the finest compressive strength of unbaked adobe bricks. *Construction and Building Materials*, 48, 948–953. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.07.043>
- Diem, W. (2001). Magnesium in different applications. *AutoTechnology* 2001 1:1, 1(1), 40–41.
<https://doi.org/10.1007/BF03246578>
- Duarte, I., Pedro, E., Varum, H., Mirão, J., & Pinho, A. (2017). Soil mineralogical composition effects on the durability of adobe blocks from the Huambo region, Angola. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 76(1), 125–132.
<https://doi.org/10.1007/S10064-015-0800-3/TABLES/4>

- El Kouali, M., & Vergnaud, J. M. (1991). Modeling the process of absorption and desorption of water above and below the fiber saturation point. *Wood Science and Technology*, 25(5), 327–339. <https://doi.org/10.1007/BF00226172/METRICS>
- Elert, K., Cultrone, G., Rodriguez Navarro, C., & Sebastián Pardo, E. (2003). Durability of bricks used in the conservation of historic buildings — influence of composition and microstructure. *Journal of Cultural Heritage*, 4(2), 91–99. [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(03\)00020-7](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(03)00020-7)
- El-Hachem, R., Rozire, E., Grondin, F., & Loukili, A. (2012). New procedure to investigate external sulphate attack on cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 34(3), 357–364. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2011.11.010>
- Ersoy, O., Güler, D., & Rençberoğlu, M. (2021). Effects of Grinding Aids Used in Grinding Calcium Carbonate (CaCO₃) Filler on the Properties of Water-Based Interior Paints. *Coatings 2022, Vol. 12, Page 44*, 12(1), 44. <https://doi.org/10.3390/COATINGS12010044>
- Fernandes, F. M., Lourenço, P. B., & Castro, F. (2010). Ancient Clay Bricks: Manufacture and Properties. *Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures*, 29–48. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2684-2_3
- Fernandez-Ordoñez, R., -Conde-Salazar, B., -Roig, J., Fernández-Ordoñez, D., & María Conde-Salazar Gómez, J. (2015). Rehabilitation of Historic Masonry Bridges: Lessons Learned from a Medieval Bridge in Northeast Spain. *Revista de La Construcción. Journal of Construction*, 14(2), 9–13. <http://publicaciones.revistasteiniana.uc.cl/index.php/RDLC/article/view/13300>
- Gao, P. W., Xu, S. Y., Chen, X., Li, J., & Lu, X. L. (2013). Research on autogenous volume deformation of concrete with MgO. *Construction and Building Materials*, 40, 998–1001. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.11.025>
- Grossi, C. M., Esbert, R. M., & Díaz-Pache, F. (1998). Decay and durability of building stones in urban environments. *Materiales de Construcción*, 48(252), 5–25. <https://doi.org/10.3989/MC.1998.V48.I252.461>
- GUINN, J. M. (1897). LOS ANGELES IN THE ADOBE AGE. *Annual Publication of the Historical Society of Southern California and Pioneer Register, Los Angeles*, 4(1), 49–55. <https://doi.org/10.2307/41167688>
- Habuda-Stanić, M., Kalajdžić, B., Kuleš, M., & Velić, N. (2008). Arsenite and arsenate sorption by hydrous ferric oxide/polymeric material. *Desalination*, 229(1–3), 1–9. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2007.06.034>

- Hale, D. K. (1976). The physical properties of composite materials. *Journal of Materials Science*, 11(11), 2105–2141. <https://doi.org/10.1007/PL00020339/METRICS>
- Hemmati-Sarapardeh, A., Amar, M. N., Soltanian, M. R., Dai, Z., & Zhang, X. (2020). Modeling CO₂ Solubility in Water at High Pressure and Temperature Conditions. *Energy & Fuels*, 34(4), 4761–4776. <https://doi.org/10.1021/ACS.ENERGYFUELS.0C00114>
- Ichikawa, S., & Nakamura, T. (2016). Approaches to solid sample preparation based on analytical depth for reliable X-ray fluorescence analysis. *X-Ray Spectrometry*, 45(6), 302–307. <https://doi.org/10.1002/XRS.2700>
- Illampas, R., Ioannou, I., & Charmpis, D. C. (2009). Adobe: An Environmentally Friendly Construction Material. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 120, 245–256. <https://doi.org/10.2495/SDP090241>
- Íñigo, A. C., Vicente, M. A., & Rives, V. (2000). Reproducción en cámara climática de las formas de alteración más frecuentes detectadas en materiales graníticos, en clima de tendencia continental. *Materiales de Construcción*, 50(257), 57–60. <https://doi.org/10.3989/MC.2000.V50.I257.418>
- Ipekoğlu, B., Böke, H., & Çizer, Ö. (2007). Assessment of material use in relation to climate in historical buildings. *Building and Environment*, 42(2), 970–978. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2005.10.029>
- Jesche, A., Fix, M., Kreyssig, A., Meier, W. R., & Canfield, P. C. (2016). X-Ray diffraction on large single crystals using a powder diffractometer. <Http://Dx.Doi.Org/10.1080/14786435.2016.1192725>, 96(20), 2115–2124. <https://doi.org/10.1080/14786435.2016.1192725>
- Jové-Sandoval, F., Barbero-Barrera, M. M., & Flores Medina, N. (2018). Assessment of the mechanical performance of three varieties of pine needles as natural reinforcement of adobe. *Construction and Building Materials*, 187, 205–213. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.07.187>
- Kriek, S., Görls, H., & Westerhausen, M. (2010). Mechanistic elucidation of the formation of the inverse Ca(I) sandwich complex [(thf)₃Ca(μ-C₆H₃-1,3,5-Ph)₃Ca(thf)₃] and stability of aryl-substituted phenylcalcium complexes. *Journal of the American Chemical Society*, 132(35), 12492–12501. https://doi.org/10.1021/JA105534W/SUPPL_FILE/JA105534W_SI_001.CIF

- Lambe, T. W. (1958). The Engineering Behavior of Compacted Clay. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 84(2), 1655–1.
<https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0000115>
- Lanzón, M., Martínez, E., Mestre, M., & Madrid, J. A. (2017). Use of zinc stearate to produce highly-hydrophobic adobe materials with extended durability to water and acid-rain. *Construction and Building Materials*, 139, 114–122.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.02.055>
- Li, K., Han, J., Wang, S., Lian, H., Xiong, J., Wang, J., Fan, Z., Xu, L., & Zhu, H. (2023). Long-term performance of structural concretes in China southeast coastal environments exposed to atmosphere and chlorides. *Cement and Concrete Research*, 164, 107064.
<https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2022.107064>
- Li, Y., Zhong, R., Ni, Z., Cui, H., Li, S., Yuan, X., Chen, H., & Yu, C. (2022). Toward quantitative experiment using hydrothermal diamond anvil cell: Solubility of sylvite up to 1.6 GPa. *Chemical Geology*, 609, 121071.
<https://doi.org/10.1016/J.CHEMGEO.2022.121071>
- Liverman, D. M., & O'Brien, K. L. (1991). Global warming and climate change in Mexico. *Global Environmental Change*, 1(5), 351–364. [https://doi.org/10.1016/0959-3780\(91\)90002-B](https://doi.org/10.1016/0959-3780(91)90002-B)
- Lopez-Arce, P., & Garcia-Guinea, J. (n.d.). *Weathering traces in ancient bricks from historic buildings*.
- López-Arce, P., Garcia-Guinea, J., Gracia, M., & Obis, J. (n.d.). *Bricks in historical buildings of Toledo City: Characterization and restoration*.
- Lv, J., Chen, Z., & Li, X. (2022). Calcium Phosphate Paints for Full-Daytime Subambient Radiative Cooling. *ACS Applied Energy Materials*, 5(4), 4117–4124.
https://doi.org/10.1021/ACSAEM.1C03457/ASSET/IMAGES/MEDIUM/AE1C03457_0010.GIF
- Marguí, E., Queralt, I., & de Almeida, E. (2022). X-ray fluorescence spectrometry for environmental analysis: Basic principles, instrumentation, applications and recent trends. *Chemosphere*, 303, 135006. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135006>
- Markert, B. (1995). Sample preparation (cleaning, drying, homogenization) for trace element analysis in plant matrices. *Science of The Total Environment*, 176(1–3), 45–61.
[https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04829-4](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04829-4)

- Maynard, A. D. (2014). Old materials, new challenges? *Nature Nanotechnology* 2014 9:9, 9(9), 658–659. <https://doi.org/10.1038/nnano.2014.196>
- Meagher, J. F., Bailey, E. M., & Luria, M. (1983). The seasonal variation of the atmospheric SO₂ to SO₄²⁻ conversion rate. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 88(C2), 1525–1527. <https://doi.org/10.1029/JC088IC02P01525>
- Mees, F., & Stoops, G. (2018). Sulphidic and Sulphuric Materials. *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, 347–376. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63522-8.00013-9>
- Metsger, D. S., Rieger, M. R., & Foreman, D. W. (1999). Mechanical properties of sintered hydroxyapatite and tricalcium phosphate ceramic. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 10(1), 9–17. <https://doi.org/10.1023/A:1008883809160/METRICKS>
- Mi, T., Li, Y., Liu, W., Dong, Z., Gong, Q., Min, C., Xing, F., Wang, Y., & Chu, S. H. (2023). The effect of carbonation on chloride redistribution and corrosion of steel reinforcement. *Construction and Building Materials*, 363, 129641. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.129641>
- Millogo, Y., Hajjaji, M., & Ouedraogo, R. (2008). Microstructure and physical properties of lime-clayey adobe bricks. *Construction and Building Materials*, 22(12), 2386–2392. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2007.09.002>
- Morcillo, M., Chang, T., Chico, B., de la Fuente, D., Odnevall Wallinder, I., Jiménez, J. A., & Leygraf, C. (2017). Characterisation of a centuries-old patinated copper roof tile from Queen Anne's Summer Palace in Prague. *Materials Characterization*, 133, 146–155. <https://doi.org/10.1016/J.MATCHAR.2017.09.034>
- Moreno-Manzo, J., Gassiot-Melian, A., & Coromina, L. (2022). Perceived value in a UNESCO World Heritage Site: the case of Quito, Ecuador. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-03-2022-0049/FULL/PDF>
- Noyes, A. A. (1910). Quantitative application of the theory of indicators to volumetric analysis. *Journal of the American Chemical Society*, 32(7), 815–861. https://doi.org/10.1021/JA01925A001/ASSET/JA01925A001.FP.PNG_V03
- Nyakairu, G. W. A., & Koeberl, C. (2001). Mineralogical and chemical composition and distribution of rare earth elements in clay-rich sediments from central Uganda. *GEOCHEMICAL JOURNAL*, 35(1), 13–28. <https://doi.org/10.2343/GEOCHEMJ.35.13>

- Paradiso, M., Bizzeti, F., Farigu, A., & Lotti, O. (n.d.). *USAGE OF BAMBOO POWDER AS AN ADDITIVE IN ADOBE BRICKS AND BAMBOO CANES FRAME FOR THE REINFORCEMENT OF ADOBE*.
- Pawlak-Kruczek, H., Krochmalny, K., Wnukowski, M., & Niedzwiecki, L. (2018). Slow pyrolysis of the sewage sludge with additives: Calcium oxide and lignite. *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME*, 140(6).
<https://doi.org/10.1115/1.4039906/367560>
- Pazos Castillo, C. A. (2018). “Determinación del grado de deterioro producido por la acción del clima en diferentes materiales de construcción utilizados en edificaciones de la ciudad de Quito.” <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/15429>
- Peñaherrera M., A. (2008). *The spirit of the historical downtown of the City of Quito*.
http://www.international.icomos.org/quebec2008/cd/toindex/79_pdf/79-ZDf7-292.pdf
- Pressler, E. E., Brunauer, S., & Kantro, D. L. (1956). Investigation of the Franke Method of Determining Free Calcium Hydroxide and Free Calcium Oxide. *Analytical Chemistry*, 28(5), 896–902.
https://doi.org/10.1021/AC60113A036/ASSET/AC60113A036.FP.PNG_V03
- Puls, J., Wilson, S. A., & Hölder, D. (2011). Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 19(1), 152–165.
<https://doi.org/10.1007/S10924-010-0258-0/FIGURES/11>
- Pungercar, V., & Musso, F. (n.d.). *Salt as a Building Material: Current Status and Future Opportunities Prefabricated window with integrated technology for refurbishments “Window Machine” View project*. <https://doi.org/10.15274/tpj.2021.06.02.4>
- Quagliarini, E., D’Orazio, M., & Lenci, S. (2015). The properties and durability of adobe earth-based masonry blocks. *Eco-Efficient Masonry Bricks and Blocks: Design, Properties and Durability*, 361–378. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00016-4>
- Rocha, F., Alshaaer, M., & Singh, N. B. (2022). Clays and Clay Minerals in the Construction Industry. *Minerals 2022, Vol. 12, Page 301*, 12(3), 301.
<https://doi.org/10.3390/MIN12030301>
- Schuldt, J. P., Konrath, S. H., & Schwarz, N. (2011a). “Global warming” or “climate change”? Whether the planet is warming depends on question wording. *Public Opinion Quarterly*, 75(1), 115–124. <https://doi.org/10.1093/POQ/NFQ073>

- Schuldt, J. P., Konrath, S. H., & Schwarz, N. (2011b). “Global warming” or “climate change”? Whether the planet is warming depends on question wording. *Public Opinion Quarterly*, 75(1), 115–124. <https://doi.org/10.1093/POQ/NFQ073>
- Shanmugavadivu, R., Ravi, G., & Nixon Azariah, A. (2006). Crystal growth, thermal and optical studies of nonlinear optical material: Glycine potassium sulphate. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 67(8), 1858–1861. <https://doi.org/10.1016/J.JPCS.2006.04.014>
- Sharma, V., Marwaha, B. M., & Vinayak, H. K. (2016). Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 141–155. <https://doi.org/10.1016/J.IJSBE.2016.03.004>
- Sistemas Y Computación Análisis, E. DE, Desarrollo De Un Solver Para, D. Y., & Eduardo Alarcón Lopez, J. (2017). *Análisis, diseño y desarrollo de un solver para variables climáticas. Datos de estudio: Quito Distrito Metropolitano*. <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/14549>
- Soni, V., Pandey, V., Tiwari, R., Asati, S., & Tekade, R. K. (2019). Design and Evaluation of Ophthalmic Delivery Formulations. *Basic Fundamentals of Drug Delivery*, 473–538. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817909-3.00013-3>
- Srinivasan, R. (1995). *XDR: External Data Representation Standard*. <https://doi.org/10.17487/RFC1832>
- Staski, E., & Reiter, J. (2016). Status and adobe quality at Fort Fillmore, New Mexico: Old questions, new techniques. *Historical Archaeology 1996 30:3*, 30(3), 1–19. <https://doi.org/10.1007/BF03374219>
- Statutory Declaration*. (n.d.).
- Stefan, T., & Janoschek, R. (2000). How relevant are S=O and P=O double bonds for the description of the acid molecules H₂SO₃, H₂SO₄, and H₃PO₄, respectively? *Journal of Molecular Modeling*, 6(2), 282–288. <https://doi.org/10.1007/PL00010730/METRICS>
- Stucki, J. W. (2006). Chapter 8 Properties and Behaviour of Iron in Clay Minerals. *Developments in Clay Science*, 1(C), 423–475. [https://doi.org/10.1016/S1572-4352\(05\)01013-5](https://doi.org/10.1016/S1572-4352(05)01013-5)
- Takada, T. (1958). On the Effects of Particle Size and Shape on the Colour of Ferric Oxide powders. *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, 4(4), 160–168. <https://doi.org/10.2497/JJSPM.4.160>

- Tekronyl, D. M. (n.d.). ACCELERATED AGING TEST. *Contribution from the Kentucky Agric. Exp. Stn*, 93–96.
- Tewari, R. (2003). The origins of iron working in India: new evidence from the Central Ganga Plain and the Eastern Vindhya. *Antiquity*, 77(297), 536–544.
<https://doi.org/10.1017/S0003598X00092590>
- Towett, E. K., Shepherd, K. D., & Cadisch, G. (2013). Quantification of total element concentrations in soils using total X-ray fluorescence spectroscopy (TXRF). *Science of The Total Environment*, 463–464, 374–388.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2013.05.068>
- Trasatti, S. (1991). Physical electrochemistry of ceramic oxides. *Electrochimica Acta*, 36(2), 225–241. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(91\)85244-2](https://doi.org/10.1016/0013-4686(91)85244-2)
- Truong, V. T., Lai, P. K., Moore, B. T., Muscat, R. F., & Russo, M. S. (2000). Corrosion protection of magnesium by electroactive polypyrrole/paint coatings. *Synthetic Metals*, 110(1), 7–15. [https://doi.org/10.1016/S0379-6779\(99\)00174-5](https://doi.org/10.1016/S0379-6779(99)00174-5)
- Uğurlu Sağın, E., & Böke, H. (2013). Characteristics of bricks used in the domes of some historic bath buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 14(3), e73–e76.
<https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2012.11.030>
- van Buren, N., Demmers, M., van der Heijden, R., & Witlox, F. (2016). Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments. *Sustainability* 2016, Vol. 8, Page 647, 8(7), 647. <https://doi.org/10.3390/SU8070647>
- Varum, H., Costa, A., Fonseca, J., & Furtado, A. (2015). Behaviour Characterization and Rehabilitation of Adobe Construction. *Procedia Engineering*, 114, 714–721.
<https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.08.015>
- Vasić, M. V., Pezo, L. L., & Radojević, Z. (2020). Optimization of adobe clay bricks based on the raw material properties (mathematical analysis). *Construction and Building Materials*, 244, 118342. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118342>
- Wang, H., & Schneider, W. F. (2010). Nature and role of surface carbonates and bicarbonates in CO oxidation over RuO₂. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 12(24), 6367–6374.
<https://doi.org/10.1039/C001683G>
- Wang, Y., Wang, D., Dong, C., & Yang, Y. (2017). The behaviour and reactions of sodium containing minerals in ash melting process. *Journal of the Energy Institute*, 90(2), 167–173. <https://doi.org/10.1016/J.JOEI.2016.02.007>

- Warren, J. (2000). Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. *Earth-Science Reviews*, 52(1–3), 1–81. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00022-2)
- Wilson, M. J. (1999). The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. *Clay Minerals*, 34(1), 7–25. <https://doi.org/10.1180/000985599545957>
- Wong, L. T., & Chow, W. K. (2001). Solar radiation model. *Applied Energy*, 69(3), 191–224. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(01\)00012-5](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(01)00012-5)
- X-ray Fluorescence – Rigaku EDXRF*. (n.d.). Retrieved June 13, 2023, from https://www.rigakuedxrf.com/x-ray-fluorescence/?gclid=CjwKCAjwyqWkBhBMEiwAp2yUFu-O6b_ypnbllCaww6PIxzj6HFNSG4TEu393UzB0xp3v7I5OeWkZUhoCS6MQAvD_BwE
- Yartys, V. A., Lototsky, M. V., Akiba, E., Albert, R., Antonov, V. E., Ares, J. R., Baricco, M., Bourgeois, N., Buckley, C. E., Bellosta von Colbe, J. M., Crivello, J. C., Cuevas, F., Denys, R. V., Dornheim, M., Felderhoff, M., Grant, D. M., Hauback, B. C., Humphries, T. D., Jacob, I., ... Zhu, M. (2019). Magnesium based materials for hydrogen based energy storage: Past, present and future. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(15), 7809–7859. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2018.12.212>
- Yépez, F., & Yépez, O. (2017). Role of construction materials in the collapse of R/C buildings after Mw 7.8 Pedernales – Ecuador earthquake, April 2016. *Case Studies in Structural Engineering*, 7, 24–31. <https://doi.org/10.1016/J.CSSE.2016.12.001>
- Zambrano, R. H., Guerrero-Casado, J., Centeno, V. A., & Tortosa, F. S. (2022). Activity Patterns of *Stenocercus iridescens* in an Ecuadorian Coastal Agroecosystem: Is Temperature Important? *Diversity* 2022, Vol. 14, Page 662, 14(8), 662. <https://doi.org/10.3390/D14080662>
- Zonno, G., Aguilar, R., Boroschek, R., & Lourenço, P. B. (2019). Analysis of the long and short-term effects of temperature and humidity on the structural properties of adobe buildings using continuous monitoring. *Engineering Structures*, 196, 109299. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2019.109299>

8. ANEXOS



Anexo 1. Coordenadas edif. Ferrocarriles Chimbacalle