Factores Meteorológicos, Geofísicos y Químicos que influyen en el proceso de erosión de la arquitectura prehispánica de tierra: caso huaca de la Luna, Trujillo, Perú.

Mg. Ricardo Morales Gamarra

Resumen

Se presenta los resultados de un trabajo de investigación sobre la patología y deterioro de un monumento arqueológico de tierra en la costa norte del Perú, tomando como caso de estudio a *huaca de la Luna*, valle de *Moche*, por ser una *estructura* diagnóstica macro regional por su ubicación geotopográfica, materiales y técnica constructiva y el impacto de factores *meteorológicos*, *geofísicos* y *químicos*.

Esta investigación pionera a nivel nacional, desarrolló varias técnicas de registro y métodos de análisis, organizados en función a la naturaleza de los factores de impacto y a las 11 estaciones de monitoreo y registro establecidas en el área de estudio. El estudio tomó como puntos de contraste un sector protegido (frontis norte) y otro expuesto al impacto directo de los vientos abrasivos (frontis sur), a fin de determinar las magnitudes del deterioro. Estas áreas fueron monitoreadas y evaluadas quincenalmente, para el efecto se tomaron en cuenta los registros de la estación meteorológica fija y equipos portátiles en huaca de la Luna. La fabricación y simulación ensayada con dos túneles de viento en el campo y en el laboratorio, ha permitido una rigurosa evaluación del proceso de erosión real y simulada.

Por otro lado, se ha observado que los monumentos son escenarios apropiados para evaluar, caracterizar y diagnosticar la patología integral de la arquitectura, de los contextos y del entorno, base ineludible del proceso de investigación para la conservación y el desarrollo de experimentos confiables sobre la estabilidad estructural y las nuevas condiciones ambientales.

La investigación ha demostrado que las estructuras arqueológicas de tierra son afectadas principalmente por los vientos y los cambios higrotérmicos, determinándose un cuadro de fragilidad, fatiga y vulnerabilidad extremas, que generan una pérdida de masa en función a la técnica y materiales constructivos, condiciones de exposición, velocidad del viento y materiales de acarreo.

Palabras claves: Factores meteorológicos, geofísicos y químicos; proceso de erosión; estructuras y superficies arquitectónicas; huaca de la Luna; Moche, Perú.

Abstract

Results of a research about the pathology and degradation on an earthen archaeological monument in the North Coast of Peru are presented, taking as case of study *Huaca de la Luna*, Moche Valley, as it is a macroregional diagnostic structure due to its geotopographical location, constructive techniques and the impact of meteorological, geophysical and chemical factors.

This nationwide pioneering research developed several data obtaining techniques and methods of analysis, organized in relation to the nature of the impact factors and the 11 monitoring and registering stations established en the area of study. The study took as referents the North Facade (Sector A) and South Facade (Sector B) of Huaca de la Luna, to obtain and establish a contrasting line, between a protected sector (North Facade) and others exposed to the direct impact of abrasive winds (South Facade), to determine the different magnitudes of decay. This areas were monitored and evaluated each fifteen days, taking in consideration the fixed meteorological station data and the portable equipment in Huaca de la Luna. The implementation of a wind tunnel in lab an the filed has made easier the evaluation of the simulated erosive process.

It has been demostrated that the monuments are filed laboratorios that make easier the characterization of the architectural pathologies, generating a research process for the conservation and development of trusworthy experiments about the structural stabilization and enviromental conditions.

Research has dmostrated that earthen archaeological structures are mainly affected by winds and higrothermic changes, determining a framework of fragility, fatigue and extreme vulnerability, that generate a loss of mass in relation to the technique and constructive materials, exposition conditions, wind speed and windblown materials.

Keywords:
Meteorological, geophysical and chemical factors, erosion process, structures and architectural surfaces, Huaca de la Luna, Moche, Peru.

1. Introducción

Los monumentos arqueológicos de tierra en la costa norte del *Perú* se encuentran en un estado de extrema fragilidad, fatiga y vulnerabilidad. El progresivo, acelerado e irreversible *proceso* de degradación es un problema que afecta a la sociedad contemporánea, en tanto estas ruinas constituyen testimonio de su memoria, una eficaz palanca para el desarrollo integral, una decisiva contribución a la autoestima colectiva y una base sustantiva de su identidad cultural.

Estos monumentos arqueológicos de la macro región, protegidos o no, se encuentran en un estado crítico y ello va en desmedro de su integridad físico-mecánica, de su potencial uso turístico y a la ampliación del conocimiento a través de la investigación científica, así como en la generación de fuentes de trabajo y desarrollo de la economía. Chan Chan y Túcume, entre otros tantos complejos emblemáticos, son los ejemplos visibles y tangibles de la irreversible pérdida de masa, volumen y superficie.

Por ello, la caracterización de esta realidad y las propuestas de solución deben responder al rigor de una investigación científica, a la intervención conservadora sostenida de este patrimonio y al uso público sostenible. Entre los factores de degradación se identificaron los *meteorológicos* (vientos Alisios, insolación, precipitación, humedad relativa y temperatura), así como los *geofísicos* (geotopografía del entorno, superficies de arena y deforestación) y *químicos* (generados por la actividad turística, agropecuaria, industrial y urbanizadora) (Sbarato et al 2007; Gisbert y Marín s/a.). Este proceso debe enmarcarse en un plan de gestión ambiental, como un pre requisito para la puesta en valor de estos recursos culturales (Morales 2008c).

En estas observaciones y enunciados se trata de responder aspectos puntuales: ¿cómo es la mecánica del deterioro; qué factores son determinantes en la interacción de los agentes destructivos; cuál es la magnitud del impacto particular y general que propician los factores de degradación; y cuáles serían las medidas apropiadas para neutralizarlos en el marco de un plan de gestión ambiental? (Morales 2003; Morales 2007; Morales 2010b).

Por otro lado, los estudios e intervenciones conservadoras se sustentan en teorías, principios, criterios y recomendaciones UNESCO, a través de documentos que se conocen como cartas

internacionales de la restauración del patrimonio cultural, como las cartas de Venecia 1964, Nara 1994, Burra 1999 y Xi'an 2005, entre otras, validadas por la UNESCO. Por otro lado, esta investigación es una propuesta que se opone al empirismo y especulación con que se han intervenido los monumentos, proponiendo un nuevo paradigma sujeto a revisiones o cuestionamientos periódicos y académicos.

En este contexto se ha tomado como caso de estudio a *huaca de la Luna*, edificio pre hispánico ubicado en el valle de *Moche,* a siete kilómetros de Trujillo, por ser una *estructura* diagnóstica macro regional. Este edificio pre Inca, construido con adobes y enlucidos de tierra policromada, se encuentra expuesto a una fuerte y permanente *erosión eólica* altamente abrasiva por la arena y otros materiales en suspensión que acarrea, y a un intenso uso turístico que genera e incrementa otros impactos colaterales. Se subraya el hecho que este tipo de estudio no presenta antecedentes a nivel nacional.

La trascendencia e importancia de esta investigación, reside en un concepto primario, los sitios arqueológicos constituyen una suerte de archivo para la humanidad, sus edificios y contextos culturales evidencian los diversos modos de vida de antiguas y complejas sociedades. Definiéndose como recursos no renovables que se encuentran amenazados por prácticas de explotación industrial, agrícola o urbanizadora, y por proyectos de comunicaciones y represas, entre otros. Estos riesgos son mayores cuando están expuestos a condiciones ambientales y sociales adversas, lo cual implica la pérdida irreversible de los contextos culturales que son la base del conocimiento científico que la arqueología y la conservación devela, analiza, interpreta y difunde.

Los pioneros estudios y tratamientos realizados en estos sitios desde mediados del pasado siglo, no han merecido la debida atención de los especialistas, no se ha realizado el registro y documentación, la evaluación, monitoreo y mantenimiento adecuados, pues, esta valiosa información es el sustento de una propuesta científica y técnica de investigación para la conservación, como nuevo modelo en la gestión y manejo del patrimonio cultural de la Nación. Las publicaciones son escasas y mayormente responden a observaciones empíricas sobre las técnicas y materiales, patología estructural y comportamiento post intervención.

En efecto, un aspecto crucial en este proceso de investigación es la exigua literatura científica sobre nuestro tema en el país, por lo tanto, no se advierten respuestas concretas al problema

científico planteado, de allí el carácter pionero de este trabajo en el país y la trascendencia de su aplicación en las centenas de sitios arqueológicos. Uno de los pocos temas tratados es desarrollado por el Centro de Investigación de Arquitectura Tradicional de Madrid, como la protección y restauración del patrimonio vernácula edificado con tierra (Maldonado et al, 2002). Una tesis de maestría de similar orientación a nuestro estudio desarrolla el tema de conservación de la arquitectura de tierra en El Cóporo, Guanajuato, México (Romero 2008), así mismo, se ubicó otro estudio de interés en Campeche, México, sobre el progresivo deterioro de los sitios y monumentos históricos (Reyes et al, s/a).

Estas pocas referencias evidencian la escasa bibliografía sobre el tema. Por nuestra parte hemos generado una serie de publicaciones en el marco del Proyecto Arqueológico Huaca de la Luna (Morales 1997, 1998, 1999-2000, 2001, 2002, 2010a), en las que se presentan los significativos avances en la construcción de una teoría, metodología, técnicas y estrategias de conservación ambiental y monumental construido en tierra.

Sin embargo, hay otros reportes desarrollados en el campo de la geomorfología y de la arquitectura patrimonial en piedra. En el propósito de recuperar detalles metodológicos y técnicas, observamos algunas publicaciones como la aplicación de la geología en la conservación de monumentos arqueológicos (Santos s/a; Rodríguez 2005); otro trabajo refiere el tema de la contaminación atmosférica y el deterioro de monumentos en la Patagonia argentina (Schuster s/a); la alteración de la piedra por factores fisicoquímicos en Iztapalapa, México D.F. (Martínez 1992). Lo relevante en estos estudios radica en sus enfoques, metodologías y análisis de resultados, que nos han servido de pauta para revisar nuestra propuesta, así como para futuras revisiones y ampliaciones.

Empero, la literatura es más amplia cuando se trata de evaluar la erosión eólica como fenómeno *per se* en relación a los suelos. En este sentido se precisa que es un fenómeno recurrente debido a las características de zona plana y de escasa lluvia en la costa, en donde la vegetación natural crece escasamente y ofrece una reducida protección al suelo y en donde además, corren vientos de consideración (Vizcarra 2006; Seoánez 2002; Gisbert y Marin s/a).

En este contexto y reconocimiento preliminar se plantea una cuestión de fondo: ***¿cómo intervienen los factores meteorológicos, geofísicos y químicos en el proceso de erosión de las superficies arquitectónicas en Huaca de la Luna, valle de Moche, Trujillo?.*** Ante esta

interrogante se planteó la hipótesis: ***los factores meteorológicos, geofísicos y químicos, interactúan y generan un permanente e intenso proceso de erosión eólica abrasiva y contaminación química, causando deterioros irreversibles en las superficies arquitectónicas en Huaca de la Luna, valle de Moche, Trujillo***.

Para evaluar y explicar este proceso se diseñaron los siguientes objetivos:

1. Identificar las condiciones meteorológicas, geofísicas y químicas del área de estudio, determinando las variables de contaminación del aire que intervienen en el proceso de erosión.
2. Determinar los límites de evaluación y medición física-temporal del deterioro de las superficies arquitectónicas.
3. Establecer la mecánica de acción del proceso de erosión, definiendo la participación e interacción de cada factor meteorológico, físico y químico.
4. Cuantificar la magnitud del deterioro de las superficies arquitectónicas: pintura mural, relieve, enlucido, piso, cabecera de muro y adobe, ocasionado por la acción erosiva del viento y la fragilidad-fatiga de los materiales.

Es necesario precisar que esta investigación tuvo su generatriz en la base epistemológica de la tesis "Impacto de la Gestión Ambiental y Turístico Cultural en la Conservación de las Huacas de Moche, Valle de Moche" (Morales 2008c). En este nuevo caso, se desarrolló una línea de investigación sobre dos factores específicos, la erosión eólica y la contaminación química del aire, que afectan en forma permanente, conjunta y acelerada a las frágiles y fatigadas estructuras de un monumento arqueológico, en el propósito de establecer un parámetro referente en la conservación del patrimonio arquitectónico pre hispánico de la costa del Perú. Se advierte que existen otros factores como los biológicos y bioquímicos, pero, no son materia de esta investigación.

El estudio se centró en la evaluación de los agentes externos de deterioro como la velocidad y dirección del viento, su carácter abrasivo por el material particulado que acarrea, la humedad relativa y temperatura que determina, la brisa marina y los agentes contaminantes del aire como monóxido de carbono, dióxido de carbono y dióxido de azufre, entre otros (Caselli 2000; Doménech 1999). El monitoreo sistemático y permanente permitió un registro riguroso, y con ello, la caracterización de los factores de deterioro que define la patología

del complejo arqueológico y el diseño de la preservación y conservación del monumento (Morales 2007).

La trascendencia de este inédito e innovador trabajo investigativo en el país, sobre el tema "medio ambiente, monumento arqueológico, ciencia ambiental y conservación monumental", va más allá de la explicación del deterioro *per se* de un monumento arqueológico, como que se propone un enfoque de manejo preventivo del área de amortiguamiento, pues, monumento y paisaje, constituyen una unidad geohistórica indisoluble. Es decir, se propone una metodología de investigación para la conservación monumental con base en las ciencias ambientales, en la protección de la biosfera como elemento contenedor e integrador.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

2.1.1 Ubicación

El área de estudio es una extensa explanada desértica y de suave pendiente ubicada entre Salaverry y las huacas de Moche. Comprende asentamientos humanos, áreas agrícolas, áreas arqueológicas y otras de uso diferenciado, sujetas a modificaciones de acuerdo con la particular dinámica de cada sector y la presión del capital. Huacas de Moche es un centro urbano-ceremonial, capital de la antigua sociedad Moche (s. I-VIII d.C.), emplazadas sobre una planicie entre el río Moche y cerro Blanco, 6,4 km del litoral, extremo sur del ámbito de estudio. Huaca de la Luna se ubica sobre el flanco oeste de cerro Blanco, con una orientación sur-norte, cubriendo un área de 28,000 m2 y a 36 msnm (P5-parador turístico). Su estratégica ubicación la expone a los impactos directos de los vientos Alisios (Municipalidad Provincial de Trujillo 2002).

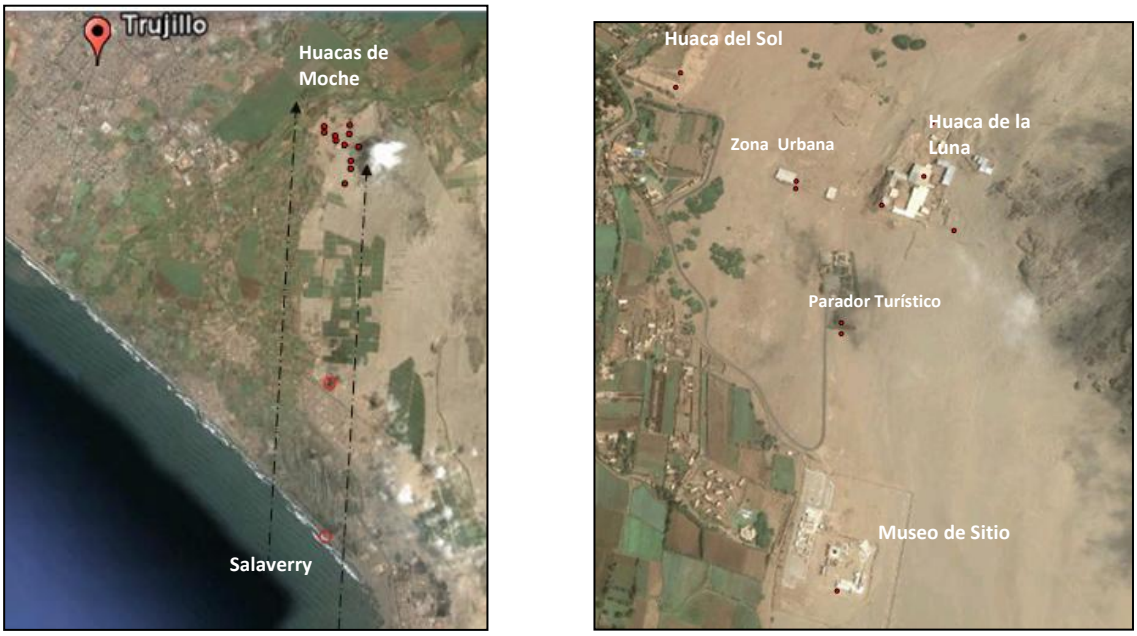


Figura 01. Ubicación del área de estudio, desde la playa de Salaverry hasta las huacas de Moche, y emplazamiento de las áreas de monitoreo y registro.

Figura 02. Vista panorámica norte-sur del área de estudio. Huacas de Moche al norte y Salaverry al sur. Nótese la extensión del área desértica

El área de estudio está definida como una poligonal que comprende una extensa área de 7 km^2 entre las huacas de Moche por el norte y puerto Salaverry por el sur. La recolección y estudio de las muestras se hizo en función a una previa programación y trabajo en gabinete,

con un equipo transdisciplinar, estableciendo los puntos diagnóstico en cada sector. Estos se definieron tal como se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 01. Ubicación de puntos o estaciones de registro en el área de estudio

UBICACIÓN	**COORDENADAS UTM (WGS 84)**		**ALTURA**	**MARGEN ERROR**	**CALIBRACIÓN**
L 17	**NORTE**	**ESTE**	**(m.s.n.m.)**	**(m - r)**	**Seg.**
P 1 Salaverry	9091642	722384	9	2.3	188
P 2 Moche pueblo	9096201	729369	51	0.0	
P 3 Museo h. de Moche	9099787	721403	35	1.1	1700
P 4 Parador turístico	9100371	721534	38	1.2	1300
P 5 Parador turístico	9100023	721276	42	1	2180
P 6 Esq. S-E H. Luna	9100136	721487	66	1.1	1750
P 7 Esq. S-O H. Luna	9100209	721351	62	1	1600
P 8 Fachada H. Luna	9100638	721688	44	1.7	1160
P 9 Fachada H. Luna	9100433	721510	54	1.1	1600
P10 H. del Sol (sup)	9100539	720915	75	1.2	1405
P11 H. del Sol (plataf.)	9100503	720906	58	1.1	1542
P12 Zona Urbana	9100262	721151	40	1.1	1480
P13 Zona Urbana	9100264	721154	38	1.1	1455
P14 Muro pruebas	9100104	721522	74	1.1	1500

Fuente: elaboración propia. Marzo 2008

Figura 03. Registro de velocidad y dirección del viento en Salaverry (P1) y Museo Huacas de Moche (P3).

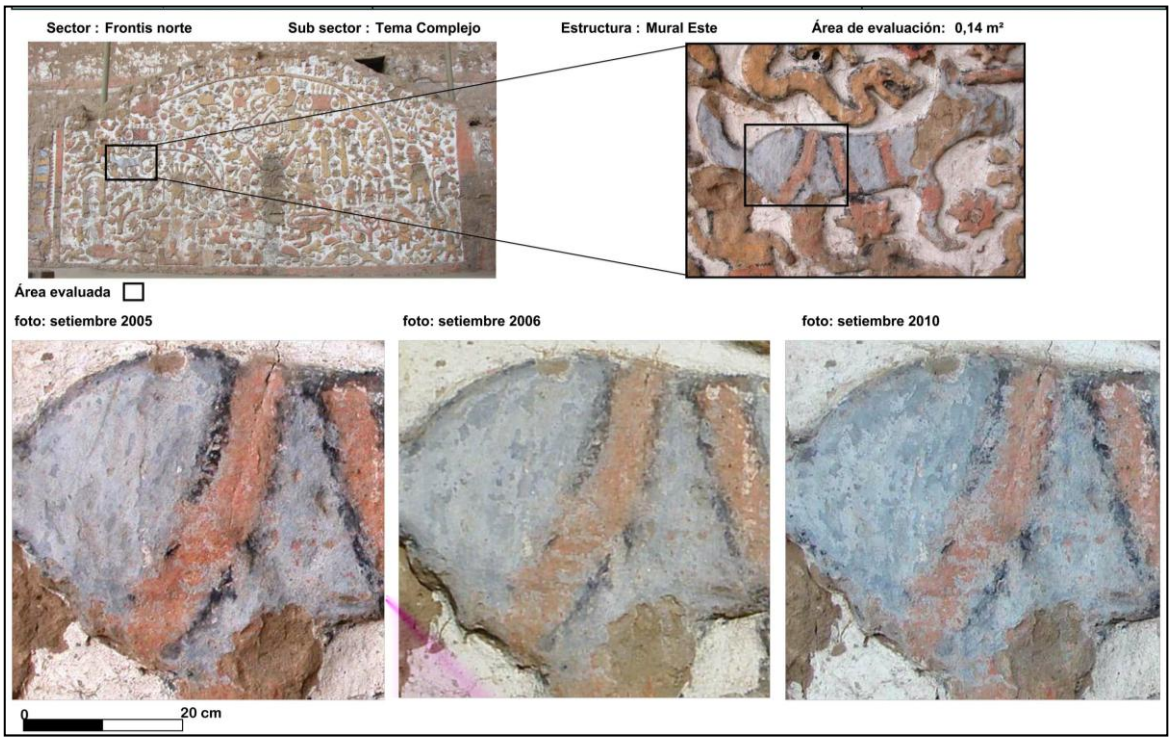


Figura 4. Vistas generales y detalles del impacto eólico en las superficies pictóricas de huaca de la Luna y monitoreo puntual de la velocidad del viento (P8).

2.1.2 Muestra

Está conformada por el material arqueológico de huaca de la Luna, como los diferentes tipos de suelo empleados en la elaboración de adobes, morteros, enlucidos y pisos, así como la caracterización de sus propiedades mecánicas, físicas y químicas; del mismo modo se evaluó la arena que acentúa la magnitud de la erosión, el material particulado y la calidad del aire (Iriondo 2007). En este propósito, las superficies arquitectónicas policromadas y adobes fueron expuestos a las condiciones medio ambientales naturales y antrópicas para evaluar el grado de corrasión que generan deterioro en un determinado lapso, como el flujo del viento (principal causante de la mayor pérdida de masa en el sector de estudio) y otras variables

que intervienen como la humedad relativa, temperatura, intensidad de luz, brisa marina (acarreo de cloruros y sulfatos), la contaminación del aire (monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno) y las partículas totales suspendidas que están asociadas al transporte motorizado, la quema de basura, la eliminación de contaminantes de la micro empresa (Wark y Warner 2007; Vizcarra 2006).

2.2 Métodos

Se desarrolló una guía metodológica basándose en las norma de la Sociedad Americana de Pruebas de Materiales (ASTM 2002), Asociación Americana de Carreteras Estatales (AASHTO 2006), Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE 2006) y las Normas Técnicas Peruanas (NTP 2008), además de ajustarse a estudios preliminares realizados en el "Laboratorio Robert Wilson", en el Centro de Investigación de Arquitectura Monumental de Tierra del Proyecto Arqueológico Huaca de la Luna, que coadministran la Universidad Nacional de Trujillo y el Patronato Huacas del Valle de Moche. El sustento teórico y experimental se construyó con base en diversos trabajos de investigación sobre geología y tecnología de materiales, y sus relaciones con los contaminantes de la atmósfgera (Foucault y Raoult 1985; Wicunder 2000; Mantilla 2001; Askeland 2004; Smith 2004; Rodríguez 2005; Wark y Warner 2007).

En principio, se realizó y evaluó diversos ensayos sobre el comportamiento físico-mecánico de tres tipos de adobes arqueológicos y dos de reciente manufactura, distribuidos en muros de pruebas ubicados al sur del monumento, por ser el sector más expuesto al impacto del intemperismo. Los adobes originales o arqueológicos son reconocidos por su crominancia: amarillo (AAA), gris (AAG) y marrón (AAM). Los adobes de reciente manufactura en el marco del proyecto de investigación, son el elaborado en huaca de la Luna (AM) y los comprados en las ladrilleras de la campiña de Moche (AC).

La difracción de rayos X (DRX), proporcionó las fases de los suelos de diferente color o cromaticidad; el método por rayos X es una forma de radiación electromagnética, producida cuando un material es bombardeado por una corriente de electrones a altas velocidades (Mantilla 2001)

Para determinar el peso en unidades de kilogramos (kg) y el volumen en unidades de centímetro cúbico (cm^3) de un cuerpo sólido, se empleó una balanza digital con sensibilidad +/- de 05g, mientras que el volumen se midió en centímetro (cm) por medio de un calibrador digital o analógico con precisión +/- 0.02 mm y/o escuadras de precisión +/- de 0.05 mm (INDECOPI 2008).

Los ensayos mecánicos permitieron emplear el equipo digital ELE 2000 Serie T, se ajustó a la norma NTE 0.80 y estudios preliminares, estableciendo los parámetros: la velocidad de carga continua en unidades de kilonewton por segundos (KN/seg), la separación de los puntos de apoyo en unidades de milímetros, las dimensiones, el modo de operación, el tipo de probeta; el equipo proporcionó la fuerza o carga aplicada en unidades de kilonewton (KN) y la resistencia a flexión en unidades de Newton sobre milímetros al cuadrado (N/mm^2) en el adobe (RNE 2006).

El ensayo de resistencia a la flexión o módulo de rotura, se realizó bajo tres fuerzas en un mismo adobe hasta su falla, estas cargas se subdividen en: una fuerza: en la cara superior de la sección de mayor área y dos en la parte inferior; en la sección de mayor área se realizó un tratamiento superficial para disminuir su rugosidad.

La resistencia compresiva es la carga axial generada para comprimir un cuerpo hasta su fractura. El ensayo se realizó bajo dos cargas de compresión en: un adobe hasta su corte, estas cargas se subdividen en una fuerza en la cara superior de la sección de mayor área y una en la parte inferior, ubicando el adobe sobre un muro estructural, bajo cargas dispersas en diferentes direcciones.

2.2.1 Variables de Estudio:

Tabla 02: Variables de Estudio

Variables independientes	**Determinación**
Factor A: Velocidad del viento	km/h
Factor B: Dirección del viento	S /SW
Factor C: Humedad Relativa	%
Factor D: Temperatura Ambiental	Cº
Factor E: Partículas totales suspendidas	$\mu g/m^3$
Factor F: Determinación de cloruros	$mg./m^2.d$
Factor G: Contenido de dióxido de azufre	$mg./m^2.d$
Factor H: Determinación de nitrógeno	ppm
Factor I: Determinación de monóxido de carbono	ppm
Variables dependientes	
Grado de erosión en la superficie arquitectónica:	%
Profundidad	mm
Rugosidad	%
Humedad contenida	%
Fisuramiento	mm

2.2.2 Variables independientes

En este punto se subraya la selección de los métodos y técnicas de evaluación de los contaminantes criterio que afectan una estructura arqueológica (Sbarato et al, 2007). La toma de muestras se realizó en los últimos días de cada mes, colocando en cada punto de muestreo un filtro de papel whatman # 42 de 150 mm de diámetro, con una porosidad de 42 um, estos filtros están expuestos a las condiciones climatológicas normales de cada punto para posteriormente determinar nuestras variables de estudio. Para ello se recogieron los filtros siguiendo las normas establecidas, llevándolos al laboratorio para su respectivo análisis.

Determinación de velocidad y dirección del viento

Se realizó en base a una estación meteorológica digital, fija e inalámbrica ubicada en el centro de visitantes y un anemómetro portátil que permitió el registro en cada punto de muestreo (Fig. 04), dejando estabilizar este equipo por unos minutos para realizar el registro. Este equipo portátil también registra la humedad relativa y temperatura. La estación meteorológica registra la información con intervalos de 30 minutos durante todo el día, almacenándose los valores en la memoria de la consola y/o la PC.

En este segmento del análisis se tomó como referencia interesantes estudios sobre tecnósfera, por la incidencia de este factor en el comportamiento de otros, como la temperatura y la humedad relativa (Vizcarra, 2006) (Seoánez 2002). Así mismo, se ha obtenido valiosa información meteorológica del área de estudio desde 1943. La intensidad del viento se ordena según su rapidez utilizando la escala de Beaufort. Esta escala se divide en varios tramos según sus efectos y/o daños causados, desde el aire en calma absoluta (0) hasta los huracanes (12)

Determinación de humedad relativa y temperatura

Para estas determinaciones se utilizó psicómetros de molinete, termo hidrómetros y termo hidrógrafos registrando in situ ambos valores, estos registros se desarrollaron puntualmente en los muros-test. Paralelamente, la estación meteorológica digital, inalámbrica y fija, registró cada treinta minutos, durante todo el tiempo que duró el trabajo de investigación estos factores, enviando la información a la consola y CPU.

Partículas en suspensión

La determinación de estas partículas se realizó con un filtro de papel Whatman # 42 de 150 mm de diámetro, con una porosidad de 42 um. En la determinación del material orgánico o pérdida por ignición, se cuantificó el porcentaje de restos orgánicos como compuesto de animales y/o vegetales, para el análisis se empleó un horno a temperatura de 445 °C. El estudio se basó en la norma AASHTO T 267 (AASHTO 2006).

El ensayo granulométrico por tamizado, determinó el porcentaje pasante de la distribución de tamaños de partículas de la muestra, a partir de mallas metálicas de aberturas de 25.4 milímetros a 0.075 milímetros, así mismo se empleó un agitador de tamices como dispersado y una balanza analítica para los pesos retenidos en cada malla. El método aplicó la norma ASTM D 422 (NTP 2008).

Grado de erosión en la superficie arquitectónica

El desgaste por erosión natural en los tipos de adobe, consistió en evaluar el flujo de viento que transcurre sobre la superficie arenosa, midiéndose el porcentaje de pérdida de masa cada 30 días, en cuerpos de distinta crominancia (marrón, gris y amarillo). El fenómeno es producto del impacto repetido de granos de arena fina y media, que generan un desprendimiento de material en el adobe.

Figura 05. Muros de prueba sector sureste. Muro de prueba M1, con adobes marrón, amarillo y gris

El desgaste por erosión simulada se desarrolló en base a dos "túneles de viento" de vidrio triple y transparente fabricado por el investigador, uno usado en el laboratorio y el otro sobre una superficie natural. Este ensayo consistió en alcanzar un régimen de funcionamiento estacionario en el equipo, donde el adobe pesado (Wi) se ubicó a 40 cm del ingreso de la cara perpendicular a la longitud y a 20 cm de altura; se dejó fluir arena por aspersión a una velocidad promedio de 15 km/h, con una exposición de 60 minutos por probeta. Transcurrido el tiempo de exposición de erosión, se pesó la muestra (Wf).

Figura 06. Túnel del viento ubicado en la planicie posterior del museo de sitio

Figura 07. Túnel de viento ubicado en el laboratorio.

Tabla 03. Condiciones de la operación de desgaste por erosión simulada.

Parámetros del tunel del viento	Valores
Velocidad de aire, en el plano 3'	31.82- 12.52 km/h
Humedad máxima	80 - 90 %
Temperatura máxima	18 - 20 °C
Mesa de arena precipitada por minuto	3.600 - 3.900 Kg
Tamaño de partículas de arena erosiva	0.300 - 0.075 mm
Porcentajes de textura en la arena erosiva	97 % de arena fina - 3 % de arcilla y limo

3. Resultados

Tabla 04. Características físicas y químicas del adobe.

	Muro de Prueba				
Descripción de Ensayos mecánico, físicos y químicos	**AAM, adobe arqueológico marrón.**	**AAA, adobe arqueológico amarillo.**	**AAG, adobe arqueológico gris.**	**AM, adobe manufacturado en el Proyecto Arqueológico/ marrón.**	**AA adobe artesanal adquirido de la Campiña de Moche/ gris.**
Análisis de difracción de rayos X (DRX)	Cuarzo / Albita calciam / Illita / Sodium aluminum / oxide silicate hydrate	Albita / Anortita / Cuarzo / Illita / Clinochlore	Cuarzo / Albita / Calciam.	Cuarzo / Albita calciam / Illita / Sodium aluminum / oxide silicate hydrate/ Anortita	Cuarzo / Albita / Illita
Análisis granulométrico por lavado	Arena 65,15 Arcilla - Limo 34,85	Arena 81,96 Arcilla - Limo 18,04	Arena 84,24 Arcilla - Limo 15,76	Arena 77,10 Arcilla - Limo 22,9	Arena 87,15 Arcilla - Limo 12,85
Contracción de volumen al 20% de humedad	12.76	5.88	5.07	8.84	4.09
Materia orgánica, (%)	0.94	1.25	1.53	0.91	2.13
Humedad, (%)	2.07	1.88	2.59	1.99	3.3

Fuente: elaboración propia. Julio 2010

Tabla 05. Determinación físico-química de los adobes muestras.

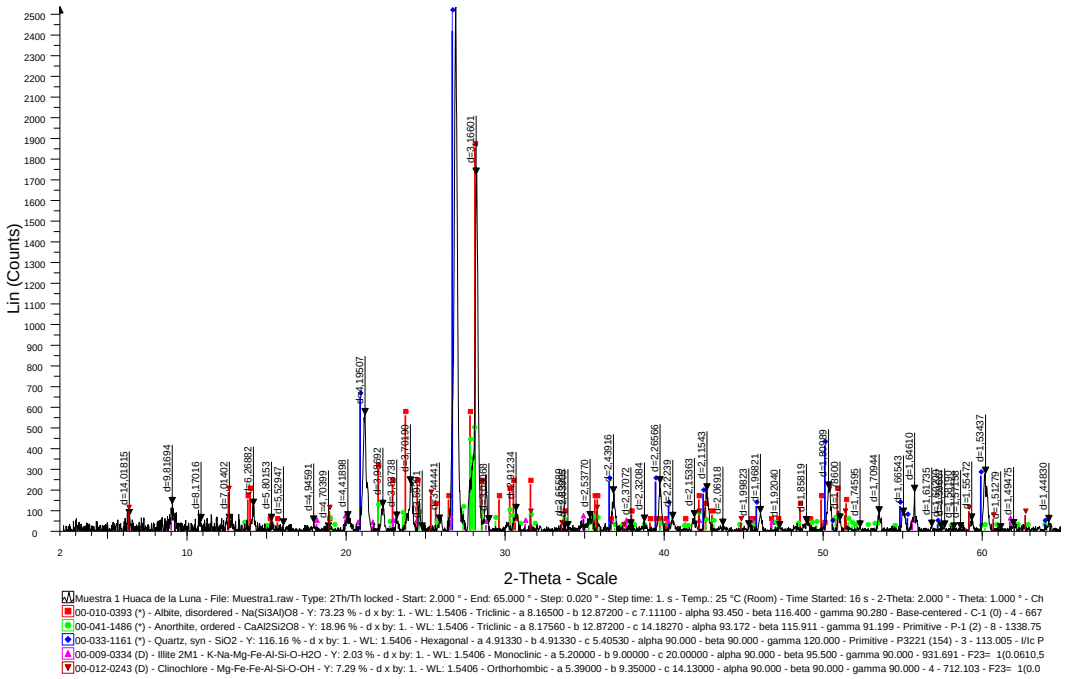
ADOBES		MARRON	AMARRILLO	GRIS
Cloruros	ppm	635.84	2702.37	2384.52
Sulfatos	ppm	3562.11	5434.96	4729.14
pH		7.73	7.23	7.28
Salinidad	ppm	9009.21	22580.18	15009.98
Plomo	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cobre	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Mercurio	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Arsénico	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01
NOx	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01
SOx	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01

Fuente: elaboración propia. Julio 2010

Tabla 06 **.** Fases de las muestra-adobes por difracción de rayos X (DRX)

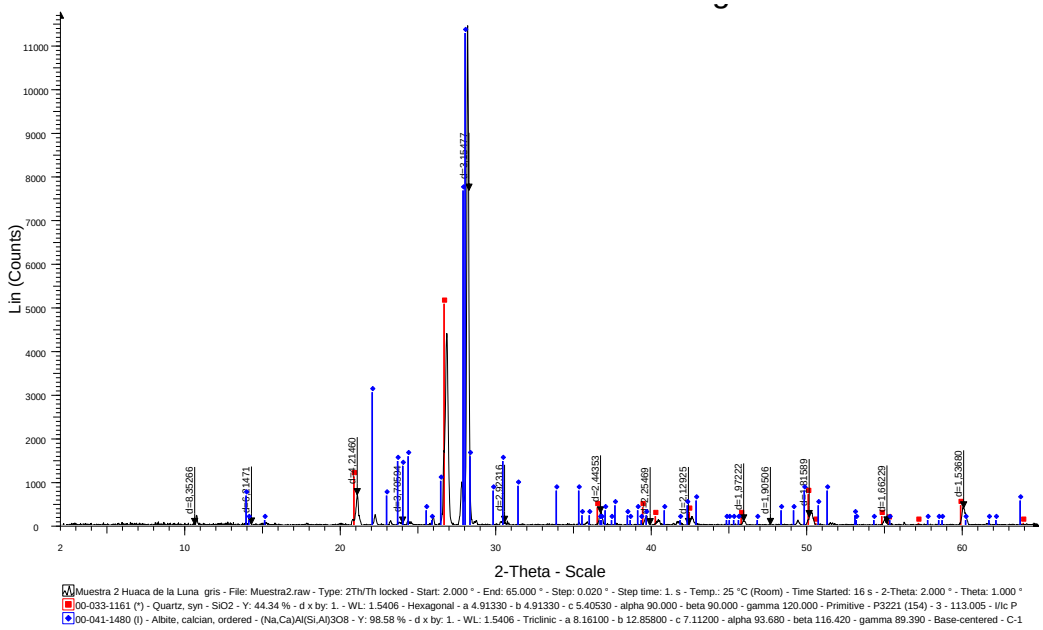
	Componentes de las muestras							
Muestra	Cuarzo	Albita calciam	Illita	Sodium aluminum	oxide silicate hydrate	Clinochlore	Anortita ord.	Calciam ord.
AAM, adobe arqueológico marrón.	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**			
AAA, adobe arqueológico amarillo.	**x**	**x**	**x**			**x**	**x**	
AAG, adobe arqueológico gris.	**x**	**x**						**x**
AM, adobe elaborado proyecto arqueológico / marrón.	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**		**x**	
AA adobe artesanal Campiña de Moche/ gris.	**x**	**x**	**x**					

Fuente: elaboración propia. Enero 2011



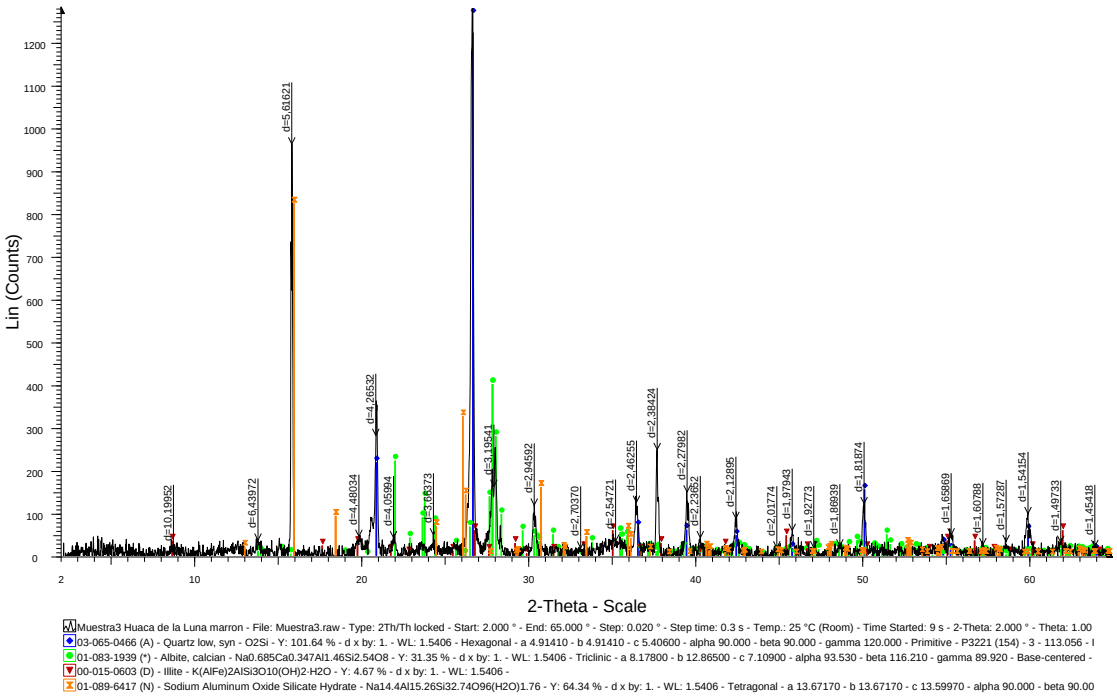
Fuente: Tabla 04. Enero 2011

Figura 08. Análisis de difracción de rayos X, adobe amarillo.



Fuente: Tabla 04. Enero 2011

Figura 09. Análisis de difracción de rayos X, adobe gris



Fuente: Tabla 04. Enero 2011

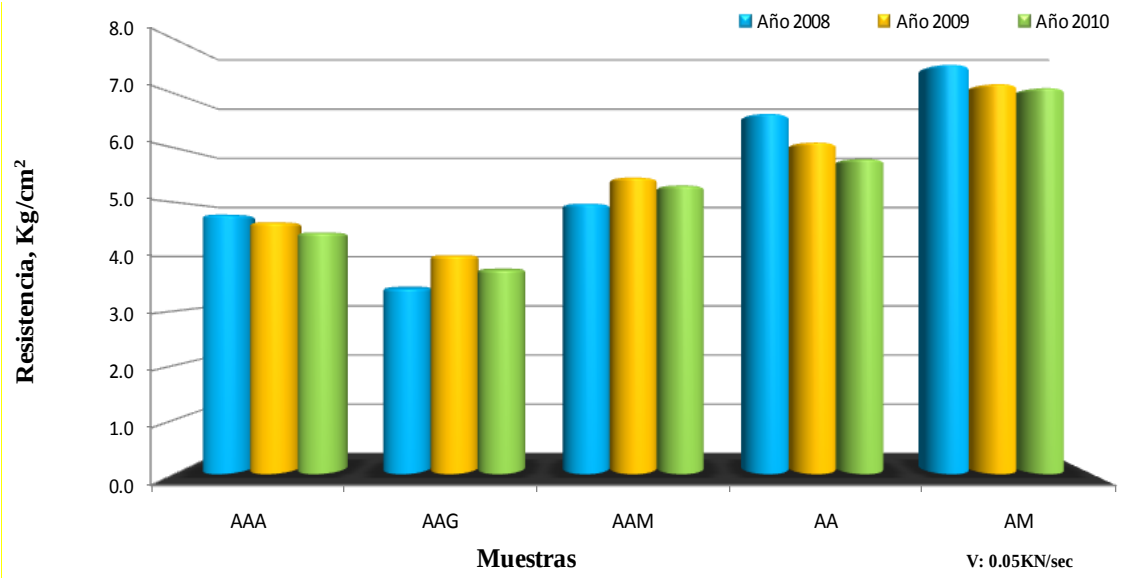
Figura 10. Análisis de difracción de rayos X, adobe marrón

Tabla 07. Resistencia de compresión en los adobes / 2008, 2009 y 2010

	Nº de Muestra	Resistencia a compresión Rc (Kg/ cm^2)
PROMEDIO	**Año 2008**	
	AAA, adobe arqueológico amarillo.	4.78
	AAG, adobe arqueológico gris.	3.42
	AAM, adobe arqueológico marrón.	4.98
	AA adobe artesanal adquirido de la Campiña de Moche/ gris.	6.64
	AM, adobe manufacturado en el Proyecto Arqueológico/ marrón.	7.55
	Año 2009	
	AAA, adobe arqueológico amarillo.	4.64
	AAG, adobe arqueológico gris.	4.03
	AAM, adobe arqueológico marrón.	5.47
	AA adobe artesanal adquirido de la Campiña de Moche/ gris.	6.11
	AM, adobe manufacturado en el Proyecto Arqueológico/ marrón.	7.19
	Año 2010	
	AAA, adobe arqueológico amarillo.	4.45
	AAG, adobe arqueológico gris.	3.77
	AAM, adobe arqueológico marrón.	5.32
	AA adobe artesanal adquirido de la Campiña de Moche/ gris.	5.81
	AM, adobe manufacturado en el Proyecto Arqueológico/ marrón.	7.12

Fuente: elaboración propia. Febrero 2011

.



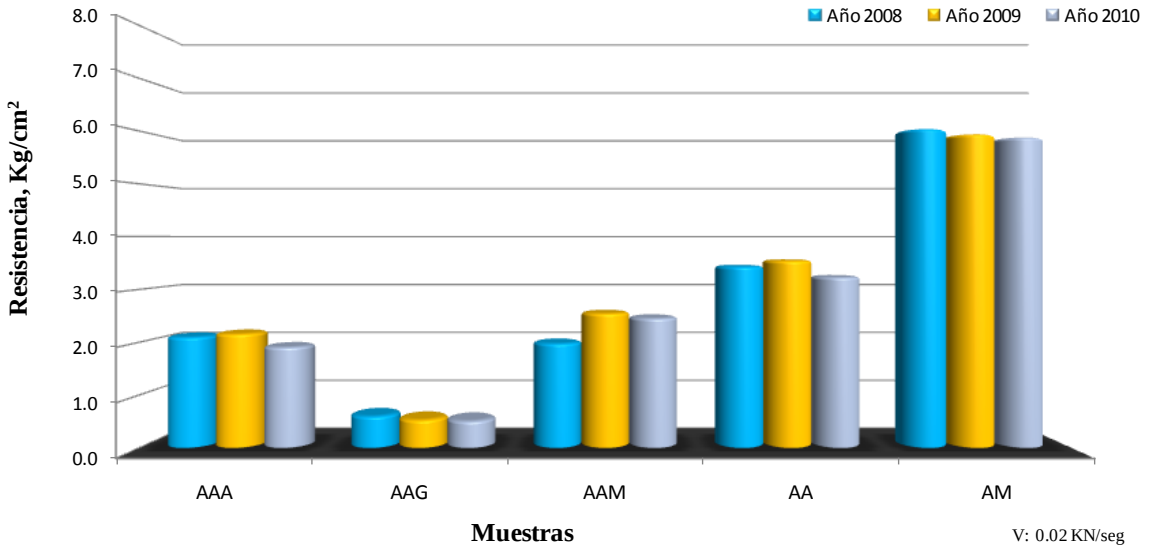
Fuente: Tabla 05. Febrero 2011

Figura 11. Comparación de la resistencia a la compresión / 2008, 2009 y 2010.

Tabla 08. Resistencia mecánica de flexión en los adobe-muestras / 2008, 2009 y 2010.

	Nº de Muestra	Resistencia a flexión Rf (Kg/ cm^2)
PROMEDIO	**Año 2008**	
	AAA, adobe arqueológico amarillo.	2.10
	AAG, adobe arqueológico gris.	0.60
	AAM, adobe arqueológico marrón.	1.98
	AA adobe artesanal adquirido de la Campiña de Moche/ gris.	3.44
	AM, adobe manufacturado en el Proyecto Arqueológico/ marrón.	6.05
	Año 2009	
	AAA, adobe arqueológico amarillo.	2.16
	AAG, adobe arqueológico gris.	0.53
	AAM, adobe arqueológico marrón.	2.55
	AA adobe artesanal adquirido de la Campiña de Moche/ gris.	3.55
	AM, adobe manufacturado en el Proyecto Arqueológico/ marrón.	5.95
	Año 2010	
	AAA, adobe arqueológico amarillo.	1.91
	AAG, adobe arqueológico gris.	0.51
	AAM, adobe arqueológico marrón.	2.46
	AA adobe artesanal adquirido de la Campiña de Moche/ gris.	3.24
	AM, adobe manufacturado en el Proyecto Arqueológico/ marrón.	5.89

Fuente: elaboración propia. Febrero 2011



Fuente: Tabla 06. Febrero 2011

Figura 12. Comparación de resistencia a la flexión / 2008, 2009 y 2010.

3.2 Variables independientes

Los resultados obtenidos se observan en las tablas 01, 02, 03, 04 y 05 donde tenemos las concentraciones y/o datos obtenidos en la investigación.

Tabla 09 : Resultados obtenidos en el punto 01 / Puerto Salaverry

Determinación	Unid.	P-1 Salaverry					
		Set 2010	Oct 2010	Nov 2010	Dic 2010	Ene 2011	Feb 2011
Hora		11:45	11:22	10:45	11:55	10:25	10:45
Peso	g.	0.4739	0.0222	0.0231	0.0121	0.0195	0.0318
Tempera.	°C	21	19,68	19,09	22	23.06	22.14
H.R	%	44	65	63,00	46	47	46
NO x	Ppm	0	0	0	0	0	0
SO x	Ppm	0	0	0	0	0	0
CO x	Ppm	0	0	0	0	0	0
Vel. Max.	m/s	17,60	3,33	2,35	6.34	5.75	4.12
Vel. Min.	m/s	-	2,42	1,16	2.33	1.96	1.34
Vel. Max.	Km/h	14.00	10,11	8,10	26.06	19.50	14.67
Vel. Min.	Km/h	-	8,13	4,71	7.14	6.25	4.03
Dirección		-	-	-			-
Cloruros	%	3.67	0.5437	0.634	0.392	0.421	0.392
Sulfatos	Ppm	750.72	181.49	239.3	703.5	845.6	1237.8
Ph		6.76	6.70	6.72	7.06	7.23	7.22

Fuente: elaboración propia. Febrero 2011

Tabla 10 : Resultados obtenidos en el punto 03 / Museo

Determinación	Unid.	P-3 Museo					
		Set 2010	Oct 2010	Nov 2010	Dic 2010	Ene 2011	Feb 2011
Hora		11:00	13:05	11:55	13:30	11:55	12:10
Peso	g.	0.0125	0.0110	0.0846	0.0268	0.0181	0.0175
Tempera.	°C	26	25,7	20,68	26	23.46	23.11
H.R	%	49	50	78,00	50	48	50
NO x	Ppm	0	0	0	0	0	0
SO x	Ppm	0	0	0	0	0	0
CO x	Ppm	0	0	0	0	0	0
Vel. Max.	m/s	1,81	4,05	5,02	7.45	7.03	5.71
Vel. Min.	m/s	-	1,98	2,08	3.07	3.13	1.18
Vel. Max.	Km/h	-	12,42	15,48	26.90	23.55	16.55
Vel. Min.	Km/h	-	7,03	4,87	5.88	12.15	5.11
Dirección		-	-	-			-
Cloruros	%	0.1328	0.1555	0.1423	0.142	0.132	0.284
Sulfatos	ppm	960.6	583.03	562.9	796.1	853.9	1294.7
Ph		6.79	6.90	6.82	7.31	6.88	6.65

Fuente: elaboración propia. Febrero 2011

Tabla 11: Resultados obtenidos en el punto 06 / Parador Turistico.

Determinación	Unid.	P-6 Parador Turístico					
		Set 2010	Oct 2010	Nov 2010	Dic 2010	Ene 2011	Feb 2011
Hora		13:20	13.30	13:00	13:50	12:30	12:30
Peso	g.	0.0095	0.0103	0.0119	0.0211	0.0145	0.0146
Tempera.	°C	24	21,87	21,27	24	27.24	23.56
H.R	%	74	75	78,00	72	42	46
NO x	ppm	0	0	0	0	0	0
SO x	ppm	0	0	0	0	0	0
CO x	ppm	0	0	0	0	0	0
Vel. Max.	m/s	-	4,34	8,88	8.45	8.74	4.67
Vel. Min.	m/s	-	0,62	2,13	4.01	2.95	0.84
Vel. Max.	Km/h	-	17,4	29,33	27.45	23.60	13.20
Vel. Min.	Km/h	-	6,22	12,96	5.23	8.45	6.09
Dirección			-	-			-
Cloruros	%	0.276	0.3032	0.2431	0.115	0.114	0.282
Sulfatos	ppm	1001.56	1041.73	1105.6	731.3	791.6	558.6
Ph		6.86	6.74	6.80	7.23	7.11	6.52

Fuente: elaboración propia. Febrero 2011

Tabla 12: Resultados obtenidos en el punto 08 / Frontis Norte.

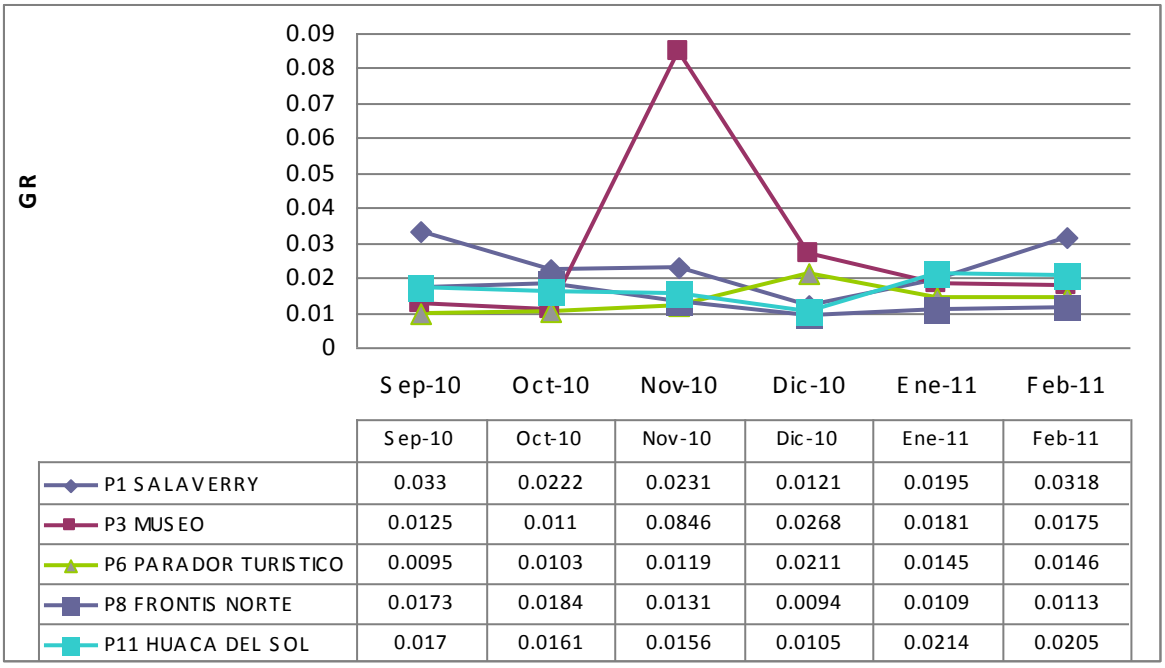
Determinación	Unid.	P-8 Frontis Norte					
		Set 2010	Oct 2010	Nov 2010	Dic 2010	Ene 2011	Feb 2011
Hora		13:05	12:15	11:35	13:10	11:50	11:55
Peso	g.	0.0173	0.0184	0.0131	0.0094	0.0109	0.0113
Tempera.	°C	24	23,46	23,26	22	27.44	25.48
H.R	%	74	52	46,00	68	44	48
NO x	ppm	0	0	0	0	0	0
SO x	ppm	0	0	0	0	0	0
CO x	ppm	0	0	0	0	0	0
Vel. Max.	m/s	0	0	0	0	0	0
Vel. Min.	m/s	0	0	0	0	0	0
Vel. Max.	Km/h	0	0	0	0	0	0
Vel. Min.	Km/h	0	0	0	0	0	0
Dirección		-	-	-			-
Cloruros	%	0.0779	0.067	0.0715	0.183	0.080	0.093
Sulfatos	ppm	580.90	512.4	482.0	387.5	407.4	406.3
Ph		6.69	6.90	6.64	6.96	6.94	7.13

Fuente: elaboración propia. Febrero 2011

Tabla 13.: Resultados obtenidos en el punto 11 / Huaca del Sol

Determinación	Unid.	P-11Huaca del sol					
		Set 2010	Oct 2010	Nov 2010	Dic 2010	Ene 2011	Feb 2011
Hora		12:35	11:55	11:20	12:40	10:55	11:30
Peso	g.	0.0170	0.0161	0.0156	0.0105	0.0214	0.0205
Tempera.	°C	20	22,26	25,85	23	23.67	24.78
H.R	%	74	52	46,00	70	50	48
NO x	ppm	0	0	0	0	0	0
SO x	ppm	0	0	0	0	0	0
CO x	ppm	0	0	0	0	0	0
Vel. Max.	m/s	2,67	3,20	1,47	6.93	4.82	7.14
Vel. Min.	m/s	-	1,76	0,85	3.56	1.06	1.90
Vel. Max.	Km/h	12,56	10,45	14,85	30.21	22.31	19.69
Vel. Min.	Km/h	-	3,76	3,81	7.35	5.34	7.23
Dirección		-		-			-
Cloruros	%	0.1914	0.1854	0.185	0.171	0.185	0.196
Sulfatos	ppm	289.3	310.4	302.6	403.6	801.5	741.1
Ph		6.81	6.77	6.98	6.80	7.02	7.14

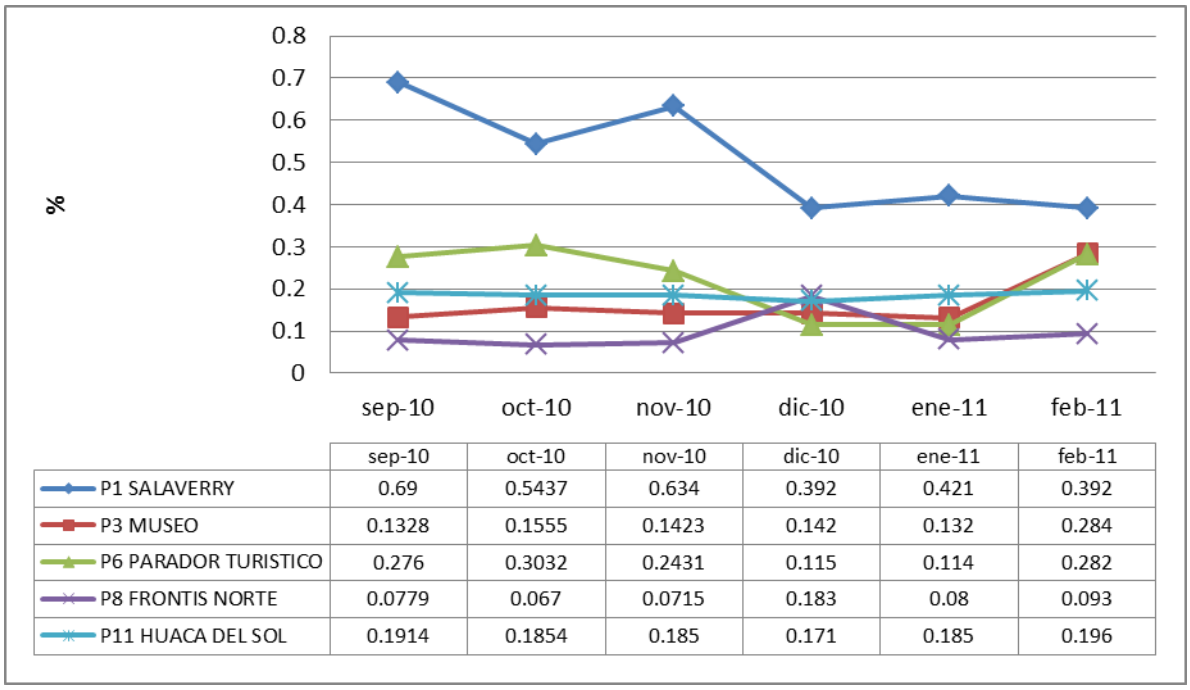
Fuente: elaboración propia. Febrero 2011



	Sep-10	Oct-10	Nov-10	Dic-10	Ene-11	Feb-11
P1 SALAVERRY	0.033	0.0222	0.0231	0.0121	0.0195	0.0318
P3 MUSEO	0.0125	0.011	0.0846	0.0268	0.0181	0.0175
P6 PARADOR TURISTICO	0.0095	0.0103	0.0119	0.0211	0.0145	0.0146
P8 FRONTIS NORTE	0.0173	0.0184	0.0131	0.0094	0.0109	0.0113
P11 HUACA DEL SOL	0.017	0.0161	0.0156	0.0105	0.0214	0.0205

Fuente: Tablas 9 a 13

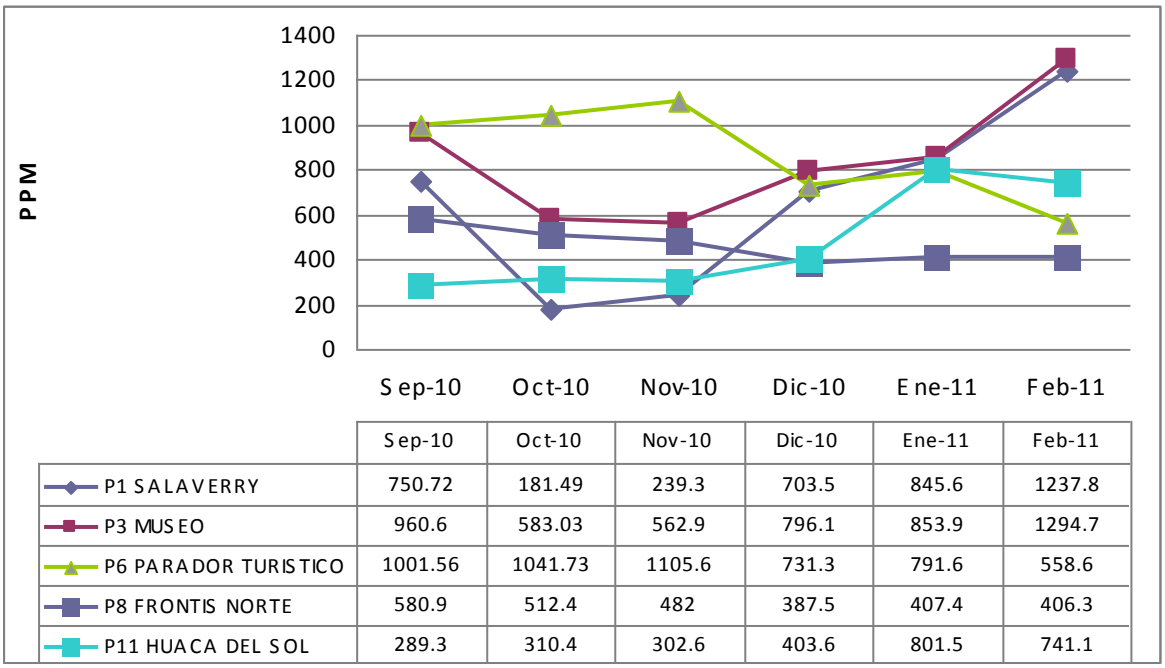
Figura 13. Determinación de los PM 10, gr.



	sep-10	oct-10	nov-10	dic-10	ene-11	feb-11
P1 SALAVERRY	0.69	0.5437	0.634	0.392	0.421	0.392
P3 MUSEO	0.1328	0.1555	0.1423	0.142	0.132	0.284
P6 PARADOR TURISTICO	0.276	0.3032	0.2431	0.115	0.114	0.282
P8 FRONTIS NORTE	0.0779	0.067	0.0715	0.183	0.08	0.093
P11 HUACA DEL SOL	0.1914	0.1854	0.185	0.171	0.185	0.196

Fuente: Tablas 9 a 13

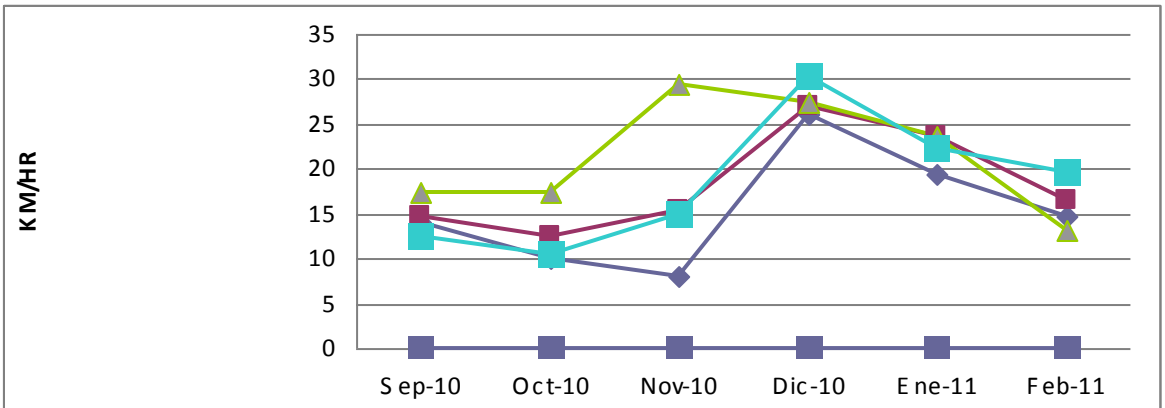
Figura 14. Determinación de cloruros



	Sep-10	Oct-10	Nov-10	Dic-10	Ene-11	Feb-11
P1 SALAVERRY	750.72	181.49	239.3	703.5	845.6	1237.8
P3 MUSEO	960.6	583.03	562.9	796.1	853.9	1294.7
P6 PARADOR TURISTICO	1001.56	1041.73	1105.6	731.3	791.6	558.6
P8 FRONTIS NORTE	580.9	512.4	482	387.5	407.4	406.3
P11 HUACA DEL SOL	289.3	310.4	302.6	403.6	801.5	741.1

Fuente: Tablas 9 a 13

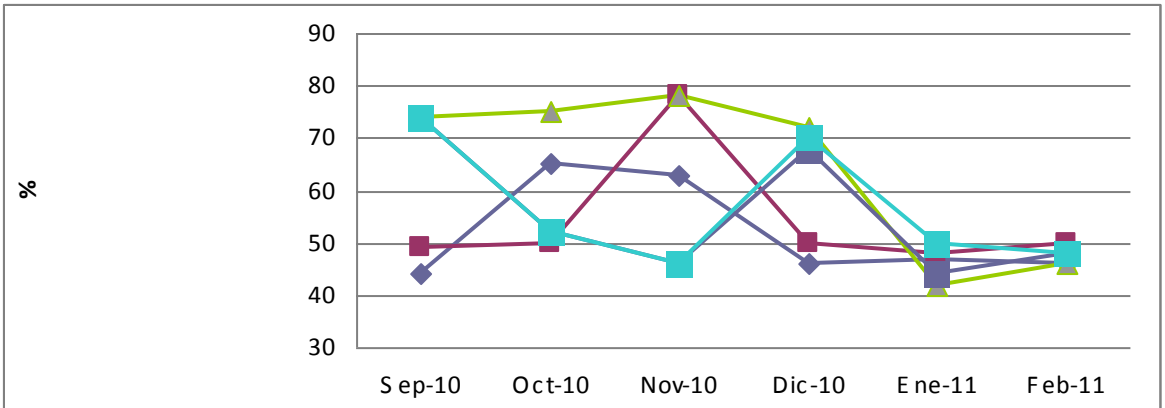
Figura 15. Determinación de sulfatos.



	Sep-10	Oct-10	Nov-10	Dic-10	Ene-11	Feb-11
P1 SALAVERRY	14	10.11	8.1	26.06	19.5	14.67
P3 MUSEO	14.65	12.42	15.48	26.9	23.55	16.55
P6 PARADOR TURISTICO	17.5	17.4	29.33	27.45	23.6	13.2
P8 FRONTIS NORTE	0	0	0	0	0	0
P11 HUACA DEL SOL	12.56	10.45	14.85	30.21	22.31	19.69

Fuente: Tablas 9 a 13

Figura 16. Determinación de la velocidad del viento, km/hr.



	Sep-10	Oct-10	Nov-10	Dic-10	Ene-11	Feb-11
P1 SALAVERRY	44	65	63	46	47	46
P3 MUSEO	49	50	78	50	48	50
P6 PARADOR TURISTICO	74	75	78	72	42	46
P8 FRONTIS NORTE	74	52	46	68	44	48
P11 HUACA DEL SOL	74	52	46	70	50	48

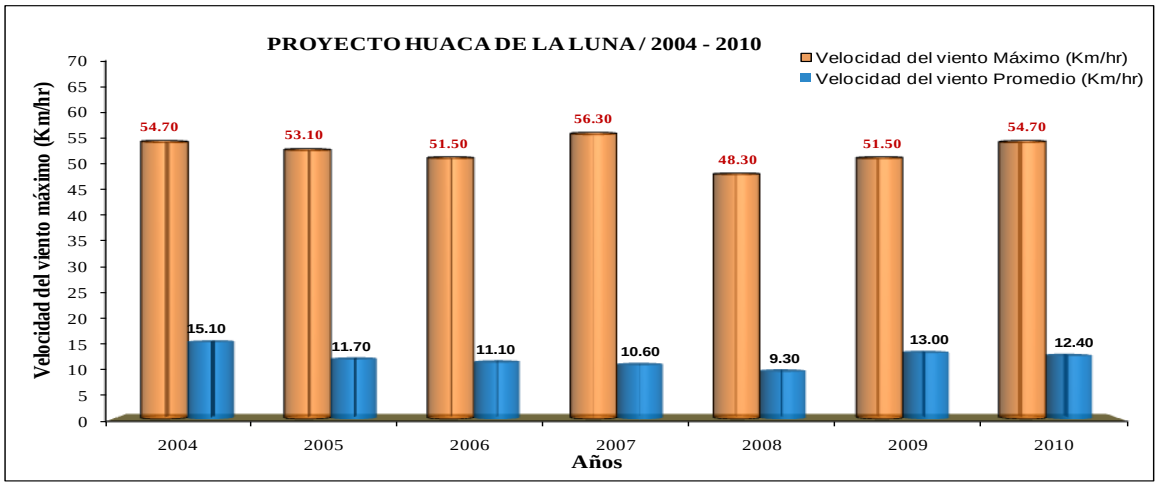
Fuente: Tablas 9 a 13

Figura 17. Determinación de humedad relativa %

Tabla 14. Velocidad del viento, máxima / 2004 – 2010

Año de monitoreo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máximo valor anual (Km/hr)
2004	54.7	51.5	51.5	54.7	40.2	45.1	54.7	46.7	45.1	49.9	51.5	51.5	54.70
2005	53.1	46.7	49.9	49.9	51.5	43.5	45.1	41.8	45.1	41.8	45.1	43.5	53.10
2006	51.5	43.5	45.1	46.7	48.3	43.5	40.2	43.5	0.0	0.0	45.1	51.5	51.50
2007	49.9	56.3	48.3	53.1	48.3	35.4	40.2	0.0	48.3	40.2	46.7	49.9	56.30
2008	44.6	41.8	41.8	40.2	40.2	38.6	38.6	40.2	45.1	46.7	46.7	48.3	48.30
2009	51.5	48.3	40.2	40.2	37.0	35.4	41.8	41.8	41.8	43.5	51.5	48.3	51.50
2010	45.1	46.7	54.7	48.3	48.3	46.7	43.5	43.5	45.1	38.6	45.1	43.5	54.70
Máximo valor mensual km/h	54.70	56.30	54.70	54.70	51.50	46.70	54.70	46.70	48.30	49.90	51.50	51.50	

Fuente: Proyecto Huaca de la Luna. Enero 2011.



Fuente: Tabla 12. Enero 2011.

Figura 18. Velocidad del viento máximo y promedio anual / 2004 - 2010

Tabla 15. Dirección del viento, 2004 - 2010

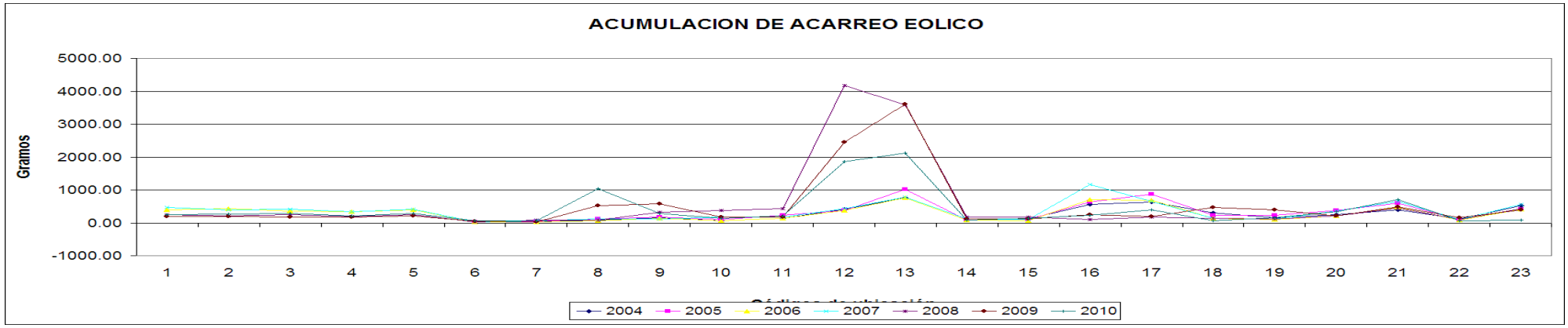
Año de monitoreo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2004	S	S	S	S	S	S	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE
2005	S	S	S	S	SSE	SSE	SSW	SSW	SSW	S	S	S
2006	S	S	SSW	S	S	S	S	S			SSW	SSW
2007	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW		SSW	SSW	SSW	SSW
2008	SSW	SSW	SSW	SSW	S	S	SSE	S	S	S	S	S
2009	S	S	S	S	S	S	S	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW
2010	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW	SSW

Fuente: Proyecto Huaca de la Luna.

Tabla 16. Acumulación anual de material particulado por acarreo eólico / 2004 - 2010

	EDIFICIO A / FRONTIS NORTE					E D I F I C I O B										E D I F I C I O C				PLAZA 3C		UNIDAD 15		
	ESC. 1	ESC. 2	ESC. 3	ESC. 4	ESC. 5	MURO SUR				MURO ESTE		MURO OESTE		RECINTO 1		MURO ESTE				RECINTO 1		M. GARRIDO		
	Pers 2	pers. 13	Pers. 6	pers. 7	pers. 5	P. May. B	P. Men. 1	P. May. I	P. Men. 11	P. May. P	P. Men. 15	P. May. S	P. Men. 19	M. Este	M. Norte	P. May. D		Muro Oeste		Muro Oeste		Muro Este		TOTAL
	Piso	Piso	Piso	Piso	Piso	Cabec	Piso	Cabec	Piso	Cabec	Piso	Cabec	Piso	Cabec	Piso	Cabec	Piso	Cabec	Piso	Cabec	Piso	Cabecera	Piso	
Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
2004						25.25	54.28	84.98	159.7	68.76	139.4	418.7	766.2	78.8	126.4	551.7	628	306.9	163.3	251.4	396.3	118.7	524.4	4,863.15
2005						34.67	48.3	119.7	173.4	106.5	222.3	375.4	1010	78.33	110.1	635.5	869.7	224.4	232.4	374.2	593.4	105.6	412	5,725.53
2006	393.7	423.1	353.5	335.9	393.5	22.66	34.9	57.3	141.6	63.09	141.1	373.9	752.3	76.89	72.87	708	689.6	136.4	108.9	220	462.6	81.47	408.2	6,451.47
2007	476	390.5	409.1	332.6	414.4	28.83	56.67	120.9	123.7	172.8	170.6	435.7	783.7	123.5	94.91	1166	645.7	144.5	120.5	349.7	655.3	103.9	551.3	7870.9
2008	248.2	207.3	252	200.1	250.6	33.52	80.21	79.43	330.2	377.3	423.1	4170	3581	167.9	181.8	97.83	165.9	132.4	115.1	205.1	448.2	105.1	429.8	12282.29
2009	201.1	192.4	180.6	176.6	205.9	47.52	36.36	529.5	575.5	172.3	171.4	2447	3601	124.2	127.9	245.8	201	468.2	394.1	213.8	477.7	155.3	390.3	11336.23
2010	251.2	262.5	289.8	204.8	278.7	63.41	73.03	1030	280	138.7	204.9	1857	2114	80.89	128.8	236.6	403.6	69.29	161.2	344.9	699.5	64.77	84.72	9,322.54

Fuente: Proyecto Huaca de la Luna. Enero 2011.



Fuente: Tabla 16

Figura 19. Acumulación anual de material particulado por acarreo eólico / 2004 - 2010

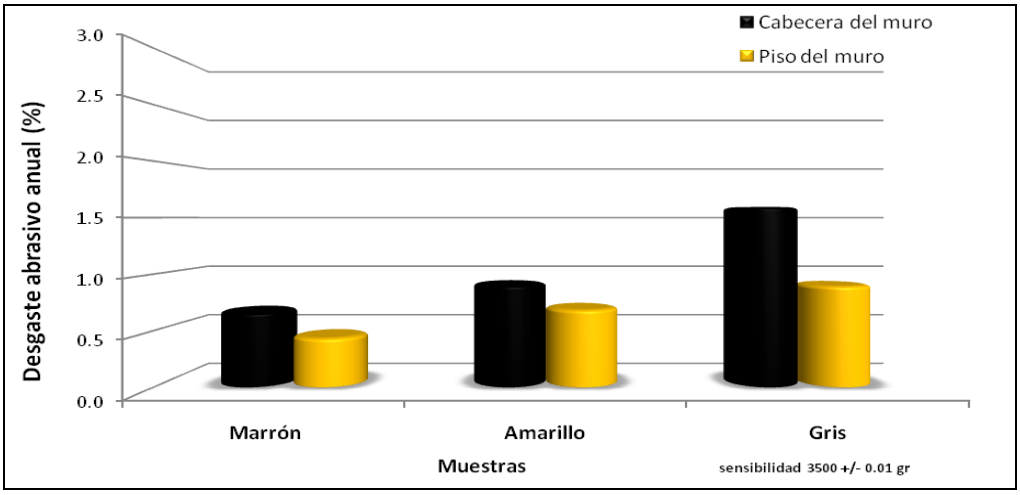
3.3 Variables dependientes

3.3.1 Desgaste de la superficie arquitectónica por erosión natural

Tabla 17. Porcentaje de desgaste promedio / muro de prueba con distintos adobes.

				Desgaste abrasivo anual (%)	
Fecha	**Días**	**Toma de muestra**	**Muestra**	**Cabecera del muro**	**Piso del muro**
22/12/2009 - 27/12/2010	365	12	AAM, adobe arqueológico marrón.	0.66	0.43
			AAA, adobe arqueológico amarillo.	0.90	0.69
			AAG, adobe arqueológico gris.	1.60	0.90

Fuente: elaboración propia. Febrero 2011



Fuente: Tabla 14. Febrero 2011

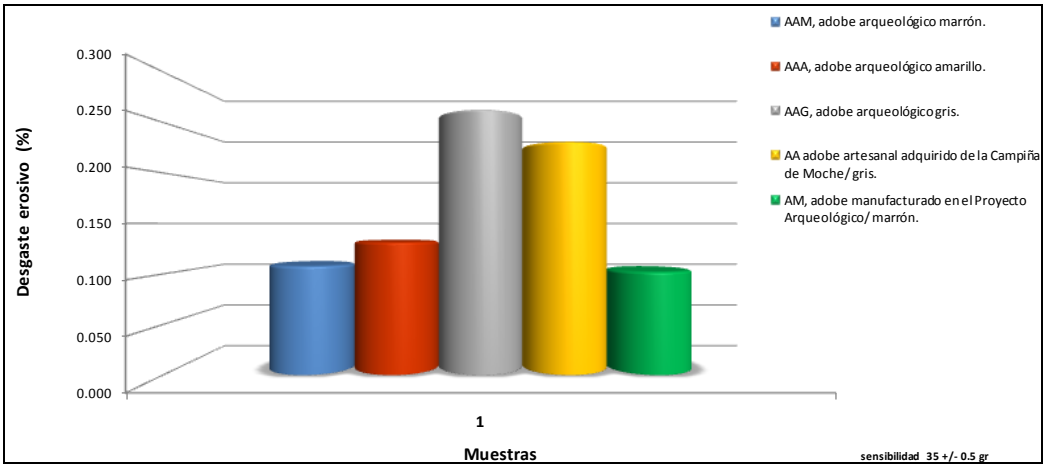
Figura 20. Desgaste promedio erosivo en muestras de adobe

3.3.2 Desgaste de la superficie arquitectónica por erosión simulada

Tabla 18. Porcentaje de desgaste simulado adobes arqueológicos y no arqueológicos

	Desgaste abrasivo (%)
Muestra	**Tiempo de exposición / 60'**
AAM, adobe arqueológico marrón.	0.108
AAA, adobe arqueológico amarillo.	0.132
AAG, adobe arqueológico gris.	0.263
AA adobe artesanal adquirido de la Campiña de	0.231
AM, adobe manufacturado en el Proyecto	0.103

Fuente: elaboración propia. Febrero 2011



Fuente**:** Tabla 10. Febrero 2011.

Figura 21. Porcentaje de desgaste erosivo simulado en laboratorio

4. Discusión

La durabilidad de las superficies arquitectónicas es una de sus características más interesantes y apreciadas, ya que existen pocos materiales como los adobes conformados de suelos franco arenosos (12.85 - 34.85 % arcilla-limo y 65.15 - 87.15 % arena) que puedan resistir el paso del tiempo de una forma tan favorable. Sin embargo existen defectos de estos materiales principalmente producidos por la retención del agua y agentes atmosféricos que pueden afectar a la vida útil del material.

La mayor variación dimensional se observa en los adobes arqueológicos por la diversidad de gaveras o moldes usados en su fábrica. El contenido de humedad determina un incremento fluctuante del peso, debido al contenido de arcilla, condiciones meteorológicas y ubicación. Obviamente, el factor dimensión y proporción influye en el volumen (largo x ancho x altura) y en el peso del bloque constructivo.

De tal manera que el adobe artesanal de la campiña de Moche (AA) presentó el valor más alto de humedad (3,30%) y de material orgánico (2,13%). Los adobes arqueológicos y el adobe preparado por el proyecto arqueológico (AM) presentaron un rango bajo de humedad (entre 1,99 – 2,59 %) y de material orgánico (entre 0,91 – 1,53 %). Los materiales orgánicos encontrados en las muestras por simple observación son: raíces, grama, pasto y materiales carbonáceos. Por ello se recomienda no usar agregados orgánicos en la fabricación de adobes, por su naturaleza higroscópica, además del riesgo del biodeterioro que se pueden generar en condiciones higrotérmicas elevadas (geófagos). Los rangos de humedad y material orgánico se complementan y definen un comportamiento lógico, es

decir, la mayor cantidad de material orgánico en un adobe genera una disminución en su peso y mayor comportamiento higroscópico por las raíces, es más, por ser porosas generan espacios que propician fallas en el procesos de la erosión, por fragmentación y fractura de las superficies de suelo.

La resistencia a compresión observada en el 2008 precisa que la muestra arqueológica AAM (4.98 kg/cm^2) y el actual AM (7.55 kg/cm^2), son las más resistentes a este ensayo. En el 2009 se mantiene la misma constante, AAM (5.47 kg/cm^2) y el actual AM (7.19 kg/cm^2). En el año 2010 se registra el valor más alto en la muestra AM (7.12 kg/cm^2) seguido del AA (5.81 kg/cm^2), AAM (5.32 kg/cm^2), AAA (4.45 kg/cm^2) y por último el AAG (3.77 kg/cm^2). Este comportamiento indicó una similitud en las muestras arqueológicas a las resistencias de compresión y flexión, así mismo, presentó una disminución de su capacidad de carga por el tiempo de exposición. El mejor comportamiento de las muestras no arqueológicas responde a la optimización de las técnicas de fábrica.

Tratando de establecer un promedio en los resultados obtenidos por bloques en los tres años de evaluación, se observó que la mayor resistencia a la compresión entre las muestras arqueológicas fue presentada por la unidad AAM (5.25 kg/ cm^2), entre las dos muestras no arqueológicas la mejor es la unidad AM (7.28 kg/ cm^2). Esta diferencia podría explicarse en razón de los 1500 años de diferencia de fábrica entre los adobes arqueológicos y los contemporáneos.

La resistencia a la flexión se evaluó en adobes expuestos a las mismas condiciones geofísicas naturales, evaluándose entre los años 2008, 2009 y 2010. En el 2008 la muestra AM, elaborada por el proyecto con material reciclado de las excavaciones y con fines de reforzamiento estructural, presentó el valor más alto (6.05/ kg/cm^2), seguido del AA (3.44 kg/cm^2), y los arqueológicos AAM (1.95 kg/cm^2), AAA (2.10 kg/cm^2) y por último el AAG (0.60 kg/cm^2). En el 2009 la muestra AM presentó el valor más alto (5.95/ kg/cm^2), seguido del AA (3.55 kg/cm^2), y los arqueológicos AAM (2.55 kg/cm^2), AAA (2.16 kg/cm^2) y por último el AAG (0.53 kg/cm^2). En 2010 se observó que la muestra AM mantiene el valor más alto (5.89 kg/cm^2), seguido del AA (3.24 kg/cm^2), y los arqueológicos AAM (2.46 kg/cm^2), AAA (1.91 kg/cm^2) y por último el AAG (0.51 kg/cm^2).

En el propósito de establecer un promedio de los resultados obtenidos por adobes en los tres años de estudio, se observó que la mayor resistencia a flexión entre las muestras arqueológicas fue presentada por la unidad AAM (3.0 kg/cm^2) y entre las dos muestras no arqueológicas la mejor es la unidad AM (5.97 kg/cm^2). El adobe arqueológico gris mantiene su bajo rendimiento (0.546 kg/cm^2) por la mayor cantidad de arena como componente.

El análisis granulométrico por tamizado evidenció que la textura de los adobes arqueológicos tienen una gradación franca arenosa, dentro de un rango de porcentajes: el adobe arqueológico marrón tiene 34.85 % de arcilla-limo y 65.15% de arena, es decir, se ubica entre 12.85 - 34.85 % para arcilla-limo y 65.15 - 87.15 % para arena, enmarcándose en la norma técnica de edificaciones E 0.80 del reglamento nacional de construcción. La muestra que no cumple con esta norma es el AAG, por presentar una textura arena franca (84.24% arena y 15.76% arcilla-limo). El AAA es de similar composición. El adobe AM (elaborado por el proyecto arqueológico), tiene una textura franca arenosa; mientras que el adobe de la campiña AA tiene una textura arena franca. Obviamente, el adobe arqueológico AAG presentó el mayor daño a los comportamientos mecánicos y físicos, por tener una mayor adición de arena que genera micro porosidades y acrecienta la absorción de agua y su aparente porosidad, mientras que los adobes AAM, tienen una mejor resistencia por el rango de porcentajes arcilla-limo ya expuesto.

El análisis de difracción de rayos X ha permitido determinar las estructuras cristalinas, composición química y simetría en la composición de las muestras terrosas, pues, la imperfección cristalina natural de los materiales muestran diversos patrones representadas en forma de bandas o líneas que dan información precisa de los defectos estructurales. En los resultados se observa que los suelos presentaron fases como el cuarzo, que disminuye la contracción en el adobe marrón; así mismo la albita e illita que son minerales arcillosos más representativos, para mejorar la plasticidad de la mezcla en los adobes arqueológicos amarillo y marrón. La presencia de la fase albita y anortita, que se da en casi todas las muestras, nos indica que se encuentra dentro de los feldespatos. La presencia del cuarzo en todas las muestras indica que se encuentra igualmente dentro de los feldespatos (Rodriguez 2005).

Contrastando los resultados de la difracción de rayos X y granulometría, se observa que los adobes arqueológicos AAM presentan la fase cuarzo (reduce la contracción) y la albita e illita (mejora la plasticidad) y que su granulometría ofrece una mejor resistencia por el rango de porcentajes arcilla-limo (12.85 - 34.85 %) y arena (65.15 - 87.15%;), caracteres que lo definen como el bloque mejor conformado.

Dos aspectos elementales en el reconocimiento del viento como factor determinante de la alteración de una estructura arqueológica, es su dirección y velocidad, el primero expresa una relación directa con la ubicación y orientación del área de estudio. La velocidad y dirección de los vientos Alisios son recurrentes y uniformes, mantienen una constante salvo raras excepciones. Estos vientos mantienen una orientación S, SSE y SSW hacia el norte, es decir, desde el mar y puerto Salaverry hacia las huacas de Moche, transportando en este recorrido cloruros y sulfatos que finalmente se depositan en las superficies arquitectónicas. En segunda instancia, las velocidades máximas que se registran en la estación meteorológica digital, mantienen un máximo valor anual entre los 48.30 a 56.30 km/h. durante 7 años de estudio, ello indica la fuerza destructiva y capacidad de acarreo en determinados momentos. Tomando como referencia la escala de Beaufort, estos vientos se clasifican en el nivel 7 en una escala de 12, que se denomina “frescachón” (árboles grandes se mueven fuertemente, el mar crece y la espuma blanca que proviene de las olas es arrastrada por el viento).

El material particulado que acarrea, esencialmente arena procedente del cercano litoral, define un severo cuadro de impacto abrasivo y directo. Para determinar y reconocer esta incidencia se registraron los datos en dos niveles, uno de carácter permanente en la estación meteorológica y el segundo en cada uno de los puntos de monitoreo establecidos.

Estos vientos como agentes erosivos son más severos en áreas áridas y semiáridas como el ámbito de estudio (Salaverry-Huacas de Moche), con clima seco, escasa vegetación y precipitación pluvial; el tipo de mecanismo de erosión es la deflación, con el arrastre y dispersión de las partículas sólidas realizadas por la fuerza de movimiento del viento, formando rasgos identificables en el terreno, como depósitos de materiales no consolidados.

Por otro lado, el viento influye en los resultados obtenidos sobre los valores de PM 10, comprobando una mayor acumulación en puerto Salaverry (P1) y museo huacas de Moche

(P3), y una menor acumulación en el frontis norte de huaca de la Luna (P8), el punto más protegido de toda el área de estudio. Respecto a la concentración de cloruros, se aprecia una elevada concentración en todos los registros realizados en puerto Salaverry (P1) y que registró 1,01%, debido a su contigüidad al mar. Por igual, los menores valores de concentración se observan en el frontis norte de huaca de la Luna (P8) con 0,10% y huaca del Sol (P11) con 0,19%.

Para el caso de sulfatos se encuentran valores máximos en los puntos ubicados en el museo Huacas de Moche (P3) con 841.87 ppm, en el parador turístico (P4 y P5) 871.73 ppm y Salaverry (P1) con 659.74 ppm, y los mínimos en la plataforma superior de huaca del Sol (P10) con 474.75 ppm y frontis norte de huaca de la Luna (P8) con 462.75 ppm. Estos datos evidencian una reducción sensible en el contenido de sulfatos por las distancia recorrida y por la ubicación de los sectores protegidos.

El estudio del material de acarreo eólico depositado en cajas receptoras de madera (polvímetros), arroja resultados dispares debido a la ubicación de estos en los muros y diversos sectores protegidos bajo cubiertas de huaca de la Luna. Lo relevante y recurrente en el examen físico reside en determinar la cantidad de arena, polvo y otros materiales, como excretas y plumas de aves. La mayor deposición se da a nivel de pisos (66%) y en menor proporción en las cabeceras de muro (33%).

En siete años de control se ha registrado un total de 57,85 kg de deposición de arena. La mayor acumulación de material por acarreo llegó a 12,60 kg en el muro oeste de la plataforma principal, debido a que se encuentra directamente impactado por los vientos, mientras que el muro sur sólo ha registrado 0,256 kg, siendo la zona más protegida del área de estudio. El incremento de la deposición de estos materiales sobre las superficies arquitectónicas, depende de la textura rugosa, incompleta y estratificada de las superficies policromadas, contribuyendo decisivamente en la pérdida del color y en el aumento de las intervenciones de mantenimiento. Un detalle que corrobora este comportamiento es el pésimo estado de conservación de los relieves y las constantes reparaciones que los Moche hicieron en este sector del templo.

El factor pH se presenta con un valor promedio de seis lecturas, entre 6.83 en el parador turístico (P5) y 6.95 en puerto Salaverry (P1), lo cual define un nivel neutro.

El estudio de la erosión eólica abrasiva natural se desarrolló en un área donde se construyeron seis muros-test con los tres tipos de adobes arqueológicos, se ubica en el sector sur-este de huaca de la Luna y adyacente a cerro Blanco, es decir, el área de mayor impacto a los vientos Alisios, cuya actividad se complementa con la planicie arenosa, exenta de vegetación, generando un lento, progresivo e irreversible proceso de corrasión. Los muros se organizaron con base en adobes originales de diferente crominacia (amarillo, marrón y gris), recuperados en las excavaciones arqueológicas.

Debe considerarse que el material transportado por el viento está en función de su tamaño y densidad, el diámetro de los granos de arena grueso es de 2.00 mm a 0.50 mm, con un porcentaje de 0 a 7% y son más densos; los granos de arena fina de 0.50 mm a 0.05 mm tienen un porcentaje de 88 a 99% y los granos de limo-arcilla de 0.05mm a menos de 0.002, presentan un porcentaje de 1 a 5%, como polvo. El fenómeno se presenta como transporte por saltación y suspensión por su baja densidad cuando los granos son livianos y las corrientes ascendentes son particularmente fuertes.

De cualquier manera, los resultados dependen del área de exposición, tiempo y estructura de los suelos para los tres tipos de adobes por su color. Las muestras de adobes arqueológicos marrón, amarillo y gris estuvieron expuestos en la cabecera y en el piso de los muros M4 y M5, ubicados en el sector sur del complejo y cerca de cerro Blanco. El proceso de desgaste es de menor intensidad en superficie donde se encuentre más arcilla como el adobe marrón, un comportamiento muy diferente presentan el adobe amarillo y gris, que presentan menos cohesión en el suelo bajo la acción del flujo de viento. En el reporte de resultados, el adobe marrón presenta menor corrasión por desgaste erosivo a diferencia del adobe amarillo y del adobe gris, que presentan una mayor pérdida de masa.

La determinación del desgaste del adobe arqueológico en función a su ubicación en los muros experimentales, explica con objetividad la continua y acelerada pérdida de muros arqueológicos. Los adobes AAM presenta una pérdida de 0.66% en cabecera de muro y 0.43% a nivel de piso; los bloques AAA evidencian un desgaste de 0.90 en la cabecera y 0.69 en piso y las unidades AAG, el más débil o fatigado, 1.60 en la cabecera y 0.90 a ras de piso. Con base en estos resultados evaluados en un período de 365 días, se establece que el movimiento ascendente de los vientos genera una mayor pérdida de masa en las secciones altas de los muros, el material desgastado se deposita en las secciones bajas como taludes,

que se complementan con los resultados de las eventuales precipitaciones. De cualquier manera queda demostrado que el adobe arqueológico marrón (AAM) es el más resistente.

Por otro lado, el estudio de la corrasión artificial o simulada en el túnel de viento, permitió identificar en laboratorio el conjunto de procesos de desgaste, fragmentación y fractura de las superficies arquitectónicas, por acción de una corriente de viento generada con un ventilador, a una velocidad y rango higrotérmico estables. El adobe arqueológico marrón (AAM) presentó en 60 minutos de exposición un 0.108 % de pérdida de peso, el adobe amarillo (AAA) perdió 0.132%, el adobe gris (AAG) presentó un mayor desgaste de 0.263 %, mientras que el adobe elaborado en el proyecto arqueológico (AM) perdió 0.103 % y el adobe artesanal de la campiña (AA) un 0.231%..

5. Conclusiones

Las condiciones que generan los factores medio ambientales, meteorológicos y antrópicos, propician impactos directos sobre las frágiles y fatigadas estructuras de los monumentos arqueológicos de tierra, definiendo un irreversible y gradual proceso de pérdida de masa que concluirá en la destrucción total de estas evidencias históricas. Este comportamiento no ha sido estudiado sistemática e integralmente, perdiéndose una valiosa información que permite implementar programas de investigación para la conservación y uso público sostenible de los monumentos y su entorno.

Por la naturaleza higroscópica del material arcilloso se define una fragilidad desde el momento de la construcción de los edificios al impacto de los agentes eólicos e hídricos. Desde su edificación, uso histórico y exposición post abandono, al presente, se desarrolló un proceso de envejecimiento o fatiga de los materiales, que se acentúa y acelera con la meteorización generada por el medio. Sin embargo, la excavación arqueológica, el intenso uso turístico y las actividades económicas contemporáneas en el entorno, han generado nuevas y adversas condiciones que explican el nivel de vulnerabilidad de huaca de la Luna. En este contexto, el viento, humedad relativa y temperatura, son los factores que permanentemente y en mayor magnitud, impactan las estructuras arqueológicas, causando pérdidas de masa y alteraciones irreversibles en las superficies pictóricas pre hispánicas.

La resistencia mecánica a compresión, flexión y desgaste por erosión eólica abrasiva en el adobe y superficies arquitectónicas, está determinado por los defectos acumulados en el proceso de fabricación, su distribución granulométrica, el tipo de suelo empleado y fatigado por las condiciones variantes del medio, así como por el tamaño del adobe, la absorción de agentes geofísicos y contaminantes del entorno.

El adobe presenta diferenciación dimensional, defectos inherentes como grietas, rajaduras, cavidades, porosidad y materias orgánicas que alteran la resistencia o durabilidad del material, así mismo, se aprecia más alterada por las fluctuantes condiciones del medio. El volumen es directamente proporcional al peso entonces se ha relacionado que a mayor espacio ocupado, mayor es el numero de defectos superficiales e internos por un proceso de conformado y por modelado a mano inadecuado debido a la baja presión, como a la variaciones del secado en diferentes secciones de la muestra. Los adobes arqueológicos no presentan patrones de uniformidad. En el análisis de la resistencia de adobes arqueológicos, el marrón presenta la mayor resistencia, seguido del amarillo y gris.

Los adobes manufacturados en el proyecto con material arcilloso reciclado, presentó mejor comportamiento que el adobe artesanal de la campiña de Moche y los adobes arqueológicos. El incremento de su resistencia mecánica se debe a una mejora en el proceso de preparación del barro, cantidad de agua, mezclado, moldeo, secado y almacenamiento. La recuperación del material arcilloso generado por las excavaciones arqueológicas implica un valor social agregado, pues, reduce la depredación de las tierras agrícolas y por ende del ecosistema.

Los estudios realizados por difracción de rayos X y granulometría evidencian la importancia del cuarzo, illita y albita en la plasticidad del adobe arqueológico marrón (AAM), así mismo, el contenido de arcilla-limo (1 vol.) y arena (2 vol.), contribuyen en el buen comportamiento físico-mecánico de estos bloques. Muy por el contrario, el adobe arqueológico gris (AAG) resulta ser el más frágil a todos los ensayos e intemperismo por el mayor contenido de arena,.

Definitivamente, la dirección y velocidad de los vientos Alisios, constituyen los factores determinantes en el proceso de deterioro. Los factores meteorológicos complementan esta

actividad, salvo eventuales precipitaciones que reducen los daños por la humectación del suelo franco arenoso.

El parámetro de estudio por desgaste erosivo es un mecanismo de deterioro irreversible, definido como corrasión, el fenómeno erosivo se da a través de un impacto puntual o general dependiendo del flujo, la fuerza del viento y el material que acarrea. El adobe arqueológico gris presenta la mayor pérdida de masa, seguido del adobe amarillo y del adobe marrón, de menor pérdida de masa. Los adobes ubicados en las cabeceras o sección superior del muro, presentan una mayor afectación que los adobes expuestos a nivel del piso, por la mayor fatiga cíclica. Por otro lado, y en complemento, la mayor erosión se da en las zonas más cercanas a la sección rocosa de cerro Blanco, a diferencia de las planicies que presentan un desgaste visualmente menor, pero, la corrasión se incrementa por las fluctuaciones bruscas de humedad relativa y temperatura, la interacción de ambas genera diferencias de contracción por tensiones en las fuerzas de adherencia, provocando la fractura por fisuras y desprendimiento del material.

El acarreo y deposición de cloruros y sulfatos constituyen un riesgo para las estructuras de tierra, pues, implica un proceso de desintegración progresiva de los adobes al infiltrarse con la humedad relativa del aire y luego cristalizarse por evaporación de la humedad contenida. Por otro lado, los resultados del estudio de material particulado por acarreo y deposición definen la magnitud del impacto del viento y su definición como el factor más agresivo en este severo cuadro patológico. De allí que los cortavientos son decisivos la mitigación de este deterioro natural.

La erosión por desgaste ha modelado la superficie arquitectónica de la Huaca del Sol debido a la acción del viento producto de tres fases como son la erosión por el desgaste, fractura y fragmentación; acarreo y sedimentación por la acumulación o depósitos de arena que se indica en el acarreo eólico de los diferentes sectores.

6. Recomendaciones

En base a las estadísticas climáticas regionales, los rangos promedios de la velocidad del viento y la magnitud del deterioro por erosión eólica, se propone el diseño de un modelo

matemático que sea capaz de predecir la magnitud e intensidad del fenómeno en función a variables como geotopógrafía, cobertura vegetal, rugosidad y tipo de uso del suelo, comportamiento meteorológico, residuos y barreras mecánicas; condiciones básicas para evaluar, proponer y mejorar diferentes estrategias para mitigar la pérdida de masa en estructuras arqueológicas de tierra.

Reconociendo que las áreas culturales monumentales son parte de una biosfera en riesgo, de la cual depende, y que ésta es alterada directa e indirectamente por factores naturales y antrópicos a nivel de cuenca y clima, se recomienda realizar un estudio de los antecedentes arqueo-históricos del paleoclima, flujos eólicos y comportamiento de ENSO y como incidieron en los sitios y monumentos patrimoniales, contrastando estos resultados con los contemporáneos, a fin de establecer una base de datos y organizar un plan de gestión de riesgos y desastres.

Tomando como referencia los avances obtenidos en el Centro de Investigación de Arquitectura pre Hispánica de Tierra, del Proyecto Arqueológico Huaca de la Luna, es conveniente instalar e implementar centros similares en monumentos arqueológicos, que garanticen un proceso continuo de investigación en cada cuenca de la costa norte del país, a fin de establecer una red y base de datos macro regional e intercambiar experiencias y tecnologías sobre protección preventiva, frente a la actividad eólica y otros factores que generan desastres. En este propósito las investigaciones deben establecer la relación directa entre los flujos de los vientos a nivel planetario y la alteración que con mayor influencia generan en el cambio climático global.

7. Referencias Bibliográficas

American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. 2006. Normas que publica especificaciones, hace pruebas de protocolos y guías usadas en diseños de autopistas y construcción. Washington DC.

APHA, AWWA, WWWPCF. 1992. “Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residual”. Ediciones Díaz Santos, S.A. Madrid.

Askeland, D. 2004. “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”. Editorial International Thomson. 4ta. ed., México D.F.

American Society for Testing Materials, ASTM. 2002. International develops international standards for materials, products, systems and services used in construction, manufacturing and transportation. Section 04, construction. Volume 04.02, concrete and aggregates; volume 04.08, soil and rock (I): D420 - D5876; volume 04.09, soil and Rock (II): D5877 – latest. Washington DC.

Caselli, Mauricio. 2000. "La Contaminación Atmosférica. Causas y efectos sobre el clima, la vegetación y los animales". 6ta. ed. Siglo XXI Editores S.A, México D.F.

Doménech, Xavier. 1999. "Química de la Contaminación". Miraguano S.A. Ediciones, Madrid.

EPA. 1993. Probit analysis program. Environmental Protection Agency. Washington D.C.

Foucault, A. y J.F. Raoult. 1985. "Diccionario de Geología". Masson, S.A., París

Gisbert, Josep y Cristina Marín. s/a. "Contaminación atmosférica y deterioro de monumentos". http://crcodiletest.jsn_server4.compublicaciones.

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, INDECOPI. 2008. Organismo Peruano de Normalización, aprobar y poner a disposición las Normas Técnicas Peruanas (NTP). Lima

Iriondo, M. 2007. "Introducción a la Geología". Editorial Brujas. 3ra. edición. Córdoba, Argentina.

Mantilla, H. 2001. "Geología Mineral". Editorial B & R Publigraf. Primera edición. Lima.

Maldonado Ramos, Luis; David Rivera Gámez y Fernando Vela Cossío. 2002. "La Protección del Patrimonio Edificado con Tierra. Instrumentos de gestión, difusión e investigación". Centro de Investigación de Arquitectura Tradicional.Mantilla, H. 2001. "Geología Mineral". Editorial B & R Publigraf. Lima.

Martínez González, Gloria. 1992. Aspectos fisicoquímicos del deterioro y conservación de monumentos históricos de piedra. Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias. División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa, México D.F.

Morales, Ricardo. 1983. "Conservation of structures and adobe decorative elements in Chan Chan" En Adobe. International Symposium and Training Workshop on the Conservation of Adobe. Unesco, International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property (ICCROM Rome), pp. 83-90. Lima

Morales, Ricardo. 1997. "La conservación de las estructura y superficies en huaca de la Luna". En Investigaciones en la Huaca de la Luna 1995. Uceda, S; E. Mujica y R. Morales, editores. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Morales, Ricardo. 1998. "La conservación de las estructuras y superficies arquitectónicas". En Investigaciones en la Huaca de la Luna 1996. Uceda, S; E. Mujica y R. Morales, editores. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Morales, Ricardo. 2000. "Monitoreo de estructuras policromías y técnicas conservadoras". En Investigaciones en la Huaca de la Luna 1997. Uceda, S; E. Mujica y R. Morales, editores. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Morales, Ricardo. 2003. "Conservación Arqueológica". En Arkinka, Nº 90, pp. 82-93. Lima.

Morales, Ricardo. 2004. "Conservación de Superficies arquitectónicas pre Hispánicas: revisión y nuevas reflexiones sobre nuestra teoría". En Investigaciones en la Huaca de la Luna 1998-1999. Uceda, S; E. Mujica y R. Morales, editores. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Morales, Ricardo. 2006. "Conservación de superficies policromadas: impactos y monitoreo". En Investigaciones en la Huaca de la Luna 2000. Uceda, S; E. Mujica y R. Morales, editores. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Morales, Ricardo. 2007. "Arquitectura prehispánica de tierra: conservación y uso social en las Huacas de Moche, Perú". En Apuntes. Arquitectura en Tierra. Facultad de Arquitectura y Diseño, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, vol 20 (2), pp. 256-77.

Morales, Ricardo. 2008a. "Conservación arqueológica: intervenciones en Huaca de la Luna". En Investigaciones en la Huaca de la Luna 2001. Uceda, S; E. Mujica y R. Morales, editores. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Morales, Ricardo. 2008b. "Conservación monumental e impacto ambiental". En Investigaciones en la Huaca de la Luna 2002. Uceda, S; E. Mujica y R. Morales, editores. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Morales, Ricardo. 2008c. "Impacto de la Gestión Ambiental y Turístico Cultural en la Conservación de las Huacas de Moche, Valle de Moche". Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias Biológicas con Mención en Gestión Ambiental. Escuela de Postgrado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Morales, Ricardo. 2010a. "Los trabajos de conservación". En Moche: pasado y presente. Uceda, S. y R. Morales, editores. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Morales, Ricardo. 2010b. "Planificación, gestión y manejo sostenible de un recurso cultural pre hispánico en tierra: huacas de Moche, Perú". En VI Congreso internacional, restaurar la memoria. La gestión del patrimonio hacia un planteamiento sostenible. Actas. Tomo I, pp 109-122. Junta de Castilla y León, Valladolid.

Municipalidad Provincial de Trujillo. 2002. Atlas de la ciudad de Trujillo. Trujillo.

Reyes, J.; J. González-Sánchez; H. Barba; C. Huitz; F. Bernes; R. Escamilla y T. Pérez. s/a. "Estudios sobre Degradación del Patrimonio Histórico en el Estado de Campeche". Universidad Autónoma de Campeche.

Reglamento Nacional de Edificaciones, RNE. 2006. Edificaciones. Consideraciones generales de las edificaciones estructuras, estructuras, E.080 adobe. Ed. El Peruano. Lima.

Rodríguez, M. 2005. "Geología Práctica". Editorial Pearson Pretice may, Madrid.

Romero, Armando. 2008. Conservación de la arquitectura de tierra: estudio de caso en el sitio arqueológico El Cóporo. Tesis para optar el grado de Maestro en restauración de sitios y monumentos. Facultad de Arquitectura, Universidad de Guanajuato.

Santos, Iván. s/a. "Geología aplicada en trabajos de conservación en monumentos arqueológicos". Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. http://www.yachaywasi.org

Sbarato, Darío; Viviana Sbarato y José Ortega. 2007. "Predicción y evaluación de de impactos ambientales sobre la atmósfera". Editorial Encuentro. Córdoba, Argentina.

Schuster, Verónica. s/a. Conservación versus alteración. La cuestión del patrimonio arqueológico costero en la ciudad de Puerto Madryn y costas adyacentes (Nordeste del Chubut, Patagonia, Argentina". Centro Nacional Patagónico, Chubut, Argentina.

Seoánez Calvo, Mariano. 2002. "Tratado de climatología aplicada a la ingeniería medioambiental". Mundi-Prensa Libros, S.A., Madrid.

Sierra J. 1983. "Análisis de Aguas y Aguas Residuales". Universidad de Antioquia, Medellín.

Smith, W. 2004. "Ciencia e Ingeniería de Materiales". Editorial McGraw-Hill/ Interamericana de España, S.A. Tercera edición. Madrid - España.

Vizcarra, M.A. 2006. "Tecnósfera. La atmósfera contaminada y sus relaciones con el público". 2da. ed. Ars Asesoría y servicios SAC, Lima.

Wark, Kennet y Cecil F. Warner. 2007. "Contaminación del aire. Origen y control". Editorial Limusa S.A., México D.F.

Wicunder, R. 2000. "Fundamento de la Geología". Editorial International Thomson. Segunda edición. México.

Publicado en

2011 Factores meteorológicos, geofísicos y químicos que influyen en el proceso de erosión de la arquitectura prehispánica de tierra: caso huaca de la Luna, Trujillo, Perú. EN Perspectivas Latinoamericanas, N° 8, pp. 51-83. Centro de Estudios, Latinoamericanos, Universidad Nanzan, Nagoya, Japón.