

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA
MENCIÓN: CONSERVACIÓN DE MONUMENTOS Y CENTROS
HISTÓRICOS



FORMULACIÓN DEL MÉTODO BIOQUÍMICO PARA MITIGAR EL
DETERIORO LÍTICO DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS POR
LA CALOPLACA SP.
CASO: SITIO ARQUEOLÓGICO TARAWASI - LIMATAMBO – ANTA -
PERIODO 1999-2018

TESIS PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
ARQUITECTURA
MENCIÓN: CONSERVACIÓN DE MONUMENTOS Y CENTROS
HISTÓRICOS

PRESENTADO POR: Br. JORGE LUIS GAMARRA GAMIO
ASESOR M. Sc: RENÉ NAVARRO HALANOCCA

CUSCO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y la felicidad que hoy disfruto.

A mis padres Víctor y Doris que desde la eternidad me guían y protegen.

A mi esposa Rene Lucha mi eterna y amada compañera de mis noches de desvelo.

A mi hija Doris Patricia mi princesa, alegría y estímulo constante.

A mis hijos; Iván, Yuri, y Willian expresados en los detalles de estímulo y partícipes de mis logros y aspiraciones profesionales.

Y el amor de mis hermanos; Sonia, Violeta, Luis Enrique, por los constante el estímulo para mis logros profesionales y personales.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección Desconcentrada de Cultura Cusco Ministerio de Cultura, antes Instituto Nacional de Cultura; Director Gustavo Manrique Villalobos, Escuela Taller AECI en la primera aplicación del método Bioquímico, realizado en el año 1999 y segunda aplicación de mantenimiento en el año 2015 a través de Área Funcional Gestión y Coordinación de Monumentos, Arqueólogo Eduardo Pacheco Collavinos. Departamento Físicoquímico de la Dirección Desconcentrada de Cultura Cusco (DDC), hicieron posible la formulación del Método Bioquímico.

Agradecimientos A: Blgas: Roxana Gonzales, Eliana Rojas Velásquez por el apoyo en las investigaciones del líquen. Apuntes gráficos y realización de los planos; asistente de topografía Ángel Cayamarca Aguilar. Ingeniero Civil Walter Amezcua en la toma de datos por fotogrametría. Apoyo logístico; Arqueólogo Willian Cjuro y Dra. Ocharán. Laboratorio de Barrido Electrónico (Lima)

Agradecimientos especiales a mi asesor de Tesis: Mgt René Navarro Halanocca. Al Jurado dictaminador de Tesis, Arqtos: Dr. José Carlos Hayakawa Casas. Mgt. José Ángel Silva Santander.

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	x
SUMARY.....	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. Problema general.....	3
1.2.1. Problemas específicos.....	3
1.3. Justificación	4
1.3.1. Contribución Científica.....	4
1.3.2. Contribución Metodológica.....	4
1.3.3. Contribución Tecnológica.....	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
CAPITULO II.....	7
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	7
2.1. Bases teóricas.....	7
2.1.1. Fundamento del Método Bioquímico	9
2.1.2. Estudio del Material alcalino	10
2.1.3. Teorías de Patología lítica.....	12
2.1.4. La Fisiología del liquen.....	14
2.1.5. Biocorrosión lítica.....	17
2.2. Marco conceptual.....	19
2.3. Antecedentes Empíricos de la investigación (Estado del arte)	30
2.3.1. Antecedentes internacionales.....	30

2.3.2. Antecedentes latinoamericanos.....	32
2.3.3 Antecedentes nacionales.	37
2.3.4. Antecedentes locales.	37
CAPÍTULO III.....	46
HIPÓTESIS Y VARIABLES	46
3.1. Hipótesis general.....	46
3.1.1. Hipótesis específicas	46
3.2. Identificación de las variables e indicadores.....	47
3.3. Operacionalización de las variables.	48
CAPÍTULO IV.....	49
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	49
4.1. Ámbito de estudio	49
4.1.1. Descripción arquitectónica.....	51
4.2. Tipo y nivel de investigación	52
4.3. Unidad de análisis	52
4.4. Área de estudio.....	53
4.5. Tamaño de la muestra	53
4.6. Técnicas de selección de muestras.....	53
4.7. Técnicas para la recolección de información: Fase diagnóstico	54
<u>4.7.1. Técnicas de preparación de muestras para el análisis estratigráfico</u>	<u>55</u>
4.7.2. Técnicas para la caracterización estratigráfica de muestras colonizadas.....	56
4.7.3. Técnica para la caracterización microscópica por barrido electrónico	57
4.7.4. Técnica de análisis caracterización petrográfica de los elementos líticos	59
4.7.5. Técnica para el análisis y caracterización edafológica, sustratos térreos, líticos y salinos	60
4.7.6. Técnica para la determinación de la salinidad del suelo	61
4.7.7. Técnica para la determinación del pH del talo liquénico.....	62
4.7.8. Técnica para la determinación del pH de las muestras líticas de cantera, erosionadas y salinizadas.	63
4.7.9. Caracterización de las variables ambientales externas	64
4.7.10. Caracterización de las variables climáticas en la superficie de la piedra.....	64
4.7.11. Aspectos bio seguridad	65
4.7.12. Técnica para la preparación de la lechada de cal (Fase de aplicación.).....	66

4.8. Técnicas de para el análisis e interpretación de la información.....	69
4.8.1 Técnicas de registro gráfico y fotográfico	70
4.9. Secuencia aplicativa del método bioquímico.....	71
CAPITULO V.....	72
RESULTADOS.....	72
5.1. Climatología del Sitio Arqueológico de Tarawasi	72
5.2. Descripción de la aplicación del método bioquímico	75
5.2.1. Calculo del tiempo de permanencia del empaste de la lechada de cal.....	76
5.2.2. Eliminación del liquen	77
5.2.3. Desalinización.....	79
5.2.4. Determinación de concentración salina extraída en proceso de desalinizado.....	79
5.2.5. Aplicación de biosida:.....	81
5.2.6. Recolonización. Año 2015	82
número de líticos en el sector 2 A, año 2015	84
5.2.7. Mantenimiento y erradicación del liquen Caloplaca sp., en Sitio arqueológico de Tarawasi, 2015.....	86
5.3. Resultados en la fase Diagnóstico.....	86
5.3.1. Mediciones de parámetros ambientales térmicos y psicométricos externos y superficiales de los elementos líticos.....	86
5.3.2. Mediciones comparativas de temperatura ambiental externa y temperatura superficial de los elementos líticos por sectores 1A y 2A.	89
5.3.3. Zonificación de las áreas de estudio	90
5.3.4. Resultados de la cuantificación de áreas con afectación patológica y Biocorrosión	93
(1999).....	93
5.3.5. Resultados de la determinación de la patología lítica y Biocorrosión en los sub sectores 2 A:.....	96
5.3.6. Resultados de la caracterización morfológica del liquen Caloplaca sp., por microscopía Óptica.	101
5.3.7. Resultados de la caracterización estratigráfica del liquen Caloplaca sp., por microscopía óptica.	101
5.3.7. Resultados de la caracterización óptica y química por microscopía de barrido electrónico MEB.	102
Sitio Arqueológico de Tarawasi. © MyAP Perú/ Gamarra J. (2018).	103

5.3.8. Resultados de la caracterización química multielemental obtenidos por.....	106
Fluorescencia de rayos X en el sustrato: piedra-liquen.....	106
5.3.9. Resultados de la caracterización petrográfica.....	109
5.3.10. Resultados de la caracterización y análisis edafológico de tierras de los sectores 1A y 2A.....	110
5.3.11. Resultados de la caracterización salina en los suelos	111
5.3.12. Resultados de la caracterización química de los suelos del sector 1 A y 2A.....	113
(1999).....	113
5.4. Interpretación de los resultados.....	118
5.5. Discusión de resultados.....	120
LINKOGRAFIAS:	138
ANEXOS	141
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	141
Anexo 2.1. Agentes de degradación lítica en el sitio arqueológico de Tarawasi.....	142
Anexo 2.2. Fundamentos fisicoquímicos del proceso de salinización lítica.....	143
Anexo 3: Registros fotográficos de los procesos y temporalidades 1999,2015, 2018.....	144
Anexo 3.1. Sectorización: Estado Inicial; Sector 1 A S.A. Tarawasi 1998	144
145	
Anexo 3.3. Registros fotográficos del Sector 1A.....	145
Anexo 3.4. Sectorización: Estado Inicial; Sector 2 A Sitio arqueológico de Tarawasi 1998	147
Anexo 3.5. Termografía de del estado inicial del sector 2A, Sitio Arqueológico del sector 2 .A Tarawasi 1998	148
Anexo 3.6. Miscelánea de colonización en el año1999 y recolonización en el año 2015 en el Sitio Arqueológico de Tarawasi.....	149
Anexo 3.7. Miscelánea del estado actual el sector 2, A 2018.....	150
Anexo 4: Fichas de recolección de datos	151
Anexo 4.1. Variables y unidades para la recolección de datos de campo.....	151
Anexo 4.2. Ficha de campo para la colecta de muestras líticas por sectores	152
Anexo 4.3. Ficha de campo para la colecta de muestras terreas y suelos	153
Anexo 5. Instrumental y equipo utilizado para etapa de diagnóstico	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:: Mecanismo de reacción del Método bioquímico. (JLGG)	10
Figura 2:: Foto aérea de Limatambo créditos de Google, 2019.	50
Figura 3: Aerofotografía del sitio Arqueológico de Tarawasi. (2018)	50
Figura 4: Registro fotográfico de fragmentos líticos de: M1 cantera, M2 erosionados, M3 salinizados y M4 colonizados por el líquen) (Elaboración propia)	55
Figura 5: Proceso de preparación de secciones estratigráfica del talo liquénico. (JLGG).....	56
Figura 6: Micrografía estratigráfica de Caloplaca sp.(JLGG)	57
Figura 7:Microfotografía de la ultra estructura del líquen efectuado con microscopio electrónico de barrido (Myp /MEB, 2018)	58
Figura 8:Planimetría realizado con Drone Phantom2 en el sitio arqueológico de Tarawasi,Fuente: Google Earth.2018	70
Figura 9: Flujo grama de aplicación del método bioquímico (1999-2018)	71
Figura 10: Variabilidad climática promedio anual de Sitio Arqueológico de Tarawasi.(2018)	73
Figura 11: Variabilidad de las precipitaciones pluviales de enero a diciembre en el Sitio Arqueológico de Tarawasi. (2018)	74
Figura 12: Variabilidad térmica ambiental y superficial en los sectores 1 A y 2 A. (2018)....	75
Figura 13: Proceso de empaste con solución de cal, Ca (OH) ₂ 1999.....	77
Figura 14: Reacción química de deshidratación e hidrolización del córtex liquénico. 1999...	77
Figura 15: Limpieza mecánica. 1999	78
Figura 16: Liberación y limpieza de líquenes. 1999	78
Figura 17: Aplicación de papetas para la desalinización, 1999	79
Figura 18: Proceso de aplicación del biosida TEGO HB. 1999.....	81
Figura 19: Monitoreo después de la primera aplicación de método Bioquímico del Sitio Arqueológico de Tarawasi-1999.....	81
Figura 20: Diagnostico de la recolonización de lito líquenes Sector 1, 2015).....	82
Figura 21: Variabilidad del comportamiento de la recolonización del líquen versus el número de líticos en el sector 1 A, año 2015	83
Figura 22: Diagnostico de recolonización de lito líquenes sector 2A. 2015).	83
Figura 23: Variabilidad del comportamiento de la recolonización del líquen versus el número de líticos en el sector 2 A, año 2015.	84
Figura 24: Estratigráfica del líquen Caloplaca sp 2015	85
Figura 25: Secuencia de la segunda aplicación del método Bioquímica para erradicación de repoblamiento del líquen. 2015.....	85
Figura 26: Variabilidad de la humedad relativa ambiental versus la humedad relativa de las superficies líticas (1999).....	88
Figura 27: Variabilidad de térmica ambiental y superficial de elementos líticos del Sitio arqueológico de Tarawasi (1999).....	89
Figura 28: Sector 1A (s1) Esquina. (1999)	91
Figura 29: Parte frontal sector 1A: s2, s3, s4, s5, s6, s7 y, s8, s8 (1999).....	91
Figura 30: Parte frontal sector 1A: s5, s6, s7, s8 (1999).....	92

Figura 31: Sector 2A: Sub sectorización: 9s, s10, s11, s12, s13, s14, s15, s16, s17, s18, 19, s20, 21, s22, s23 y s24. s8.	92
Figura 32: Variabilidad de las patologías líticas Sector 1 A: s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8.	93
Figura 33: Plano de diagnóstico de la primera aplicación del método bioquímico: Sector 1A, Sitio Arqueológico de Tarawasi 1999.....	94
Figura 34: Plano de Evaluación de la segunda aplicación del método bioquímico: Sector 1A, Sitio Arqueológico de Tarawasi 2015.....	95
Figura 35: Plano de diagnóstico de la primera aplicación del método bioquímico: Sector 2A, Sitio Arqueológico de Tarawasi 1999.....	98
Figura 36: Plano de Evaluación de la segunda aplicación del método bioquímico: Sector 2A, Sitio Arqueológico de Tarawasi, 2015.....	100
Figura 37: Micrografía de identificación de estratigráfica del talo Caloplaca sp. (2015).....	101
Figura 38:: Micrografía de la distribución estratigráfica de la interface piedra liquen 1500 X.	103
Figura 39: Micrografía de la cristalización del oxalato de calcio en la Interface piedra-liquen. 4000 x.....	105
Figura 40: Microfotografía de barrido electrónico en la parte interna de la piedra con liquen.1500x.....	105
Figura 41: Variabilidad composicional de elementos líticos analizados; M1, M2 y M3 (2018)	108
Figura 42: Variabilidad composicional de las muestras M4, M5 y M6 (2018)	109
Figura 43: Micrografía petrográfica de Fenocristal de Hornblenda, lítico Tarawasi.....	110
Figura 44: Variabilidad de las concentraciones salinas en los suelos del sector 1A y 2 A (1999)	114
Figura 45: Variabilidad de las concentraciones salinas en las muestras M1 y M2, sector 1A (2018).....	116
Figura 46: Variabilidad de las concentraciones salinas en las muestras M3 y M4, sector 2A. (2018).....	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Términos sistematizados para designar indicadores de alteración.	28
Tabla 2: Operacionalización de las variables (2018)	48
Tabla 3: Variabilidad térmica del sitio arqueológico de Tarawasi (SENAMHI 2018).....	73
Tabla 4: Variabilidad pluviométrico promedio anual en Sitio Arqueológico de Tarawasi.	74
Tabla 5: Parámetros térmicos ambiental y superficial en los sectores 1 A y 2 A. (2018)	74
Tabla 6: Comportamiento de la recolonización del liquen versus el número de líticos en el sector 1 A, 2015	82
Tabla 7:: Variabilidad del comportamiento de la recolonización del liquen versus el	84
Tabla 9: Identificación de parámetros ambientales externos e internos en los sectores 1A y 2A del sitio arqueológico de Tarawasi. (1999).....	86
Tabla 10: Determinación de los porcentajes la humedad relativa ambiental versus la humedad relativa de las superficies líticas (1999).....	88
Tabla 11: Evaluación comparativa de las condiciones térmicas ambientales (1999)	89
Tabla 12: Variabilidad térmica ambiental y térmica de la superficie lítica en el sector 1 A, y 2 A. (1999).....	90
Tabla 13: Diagnóstico de la Biocorrosión y patología lítica en el sector 1 A. (1999)	93
Tabla 14: Sector 2 A: 9s, s10, s11, s12, s13, s14, s15, s16, s17, s18, 19, s20, 21, s22, s23 y 24 (1999).....	96
Tabla 15: Resultados del análisis químico por Barrido electrónico del talo liquénico Caloplaca sp., en el córtex, estrato gonidial y sustrato lítico de las muestras M1, M2 y M3. (2018)	103
Tabla 16: Resultados de las concentraciones químicas en sus componentes principales (2018).	106
Tabla 17: Resultados del análisis edafológico en los sectores 1A, 2A, Sitio Arqueológico de Tarawasi. (1999).....	110
Tabla 18: Resultados del análisis de extractos de saturación en muestras de suelos de los sectores 1A y 2 A (1999)	112
Tabla 19: Resultados de la composición química de los suelos los sectores 1A y 2 A	113
Tabla 20: Resultados de las concentraciones salinas en muestras de líticas de los sectores 1A y 2 A. (2018).....	115
Tabla 21: Concentración salina en muestra lítica en M1 y M2 (2018).....	116
Tabla 22: Resultados de las concentraciones salinas en los extractos saturación en muestras de líticos en el sector 2 A (2018).....	117

RESUMEN

La formulación del método bioquímico se realizó en el Sitio Arqueológico de Tarawasi Limatambo Provincia de Anta-Cusco desde 1999 hasta el 2018. Tuvo como fundamento el cambio del pH ácido del talo líquénico a un pH alcalino de líquen *Caloplaca* sp., desarrollado en cuatro etapas:

La etapa del diagnóstico estableció criterios teóricos y metodológicos para el registro, zonificación, colecta de muestras, uso de técnicas de análisis instrumental de tradicional y moderno. Determinó los factores intrínsecos y extrínsecos de la patología lítica y Biorrosión que provocados por la colonización del *Caloplaca* sp.

La etapa de aplicación estableció criterios teóricos para la preparación del insumo y aplicación secuencial para eliminar el líquen de la superficie lítica colonizada.

La etapa de evaluación determinó los resultados de la aplicación de método bioquímico en dos periodos: En el año 1999: En el sector 1 A la patología lítica fue mitigada en 17% y la Biorrosión mitigada en 92%. En el sector 2 A la patología lítica fue mitigada en 23% y la Biorrosión mitigada en 41%. En el año 2015: La segunda aplicación del método bioquímico determinó: En el sector 1 A, la patología lítica fue mitigada en 18% y la Biorrosión mitigada en 41%.y en el sector 2 A, la patología lítica fue mitigada en 23% y la Biorrosión mitigada en 1%

La etapa de monitoreo y mantenimiento realizado desde el año 1999-2015 al año 2018, contribuyó a evitar el repoblamiento de la *Caloplaca* sp.

PALABRAS CLAVE: Método bioquímico, *Caloplaca* sp., patología lítica y Biorrosión, diagnóstico, aplicación, evaluación, monitoreo, eficiencia del método.

SUMMARY

The formulation of the biochemical method was carried out in the Archaeological Site of Tarawasi-Limatambo Province of Anta-Cusco from 1999 to 2018. It was based on the change of the acid pH of the lichen thallus to an alkaline pH of the lichen *Caloplaca* sp., developed in four Stages: The diagnostic stage established theoretical and methodological criteria for registration, zoning, sample collection, use of traditional and modern instrumental analysis techniques. Determined the intrinsic and extrinsic factors of lytic pathology and biocorrosion caused by the colonization of *Caloplaca* sp. The application stage established theoretical criteria for the preparation of the input and sequential application to remove the lichen from the colonized lithic surface. The evaluation stage determined the results of the application of the biochemical method in two periods: In the year 1999: In sector 1 A, lytic pathology was mitigated in 17% and Biocorrosion mitigated in 92%. In sector 2 A, lytic pathology was mitigated in 23% and Biocorrosion mitigated in 41%. In 2015: The second application of the biochemical method determined: In sector 1 A, lithic pathology was mitigated in 18% and Biocorrosion mitigated in 41%. And in sector 2 A, lithic pathology was mitigated in 23%. and Biocorrosion mitigated by 1%. The monitoring and maintenance stage carried out from 1999-2015 to 2018, contributed to avoiding the repopulation of *Caloplaca* sp.

KEY WORDS: Biochemical method, *Caloplaca* sp., lithic pathology and Biocorrosion, diagnosis, application, evaluation, monitoring, efficiency of the method.

INTRODUCCIÓN

Los monumentos arqueológicos de la Región del Cusco y particularmente como estudio de caso el sitio arqueológico de Tarawasi Anta Cusco está expuestos a procesos de meteorización lítica, gradientes de temperatura ambiental, precipitaciones pluviales, variaciones de humedad ambiental, viento, eventos extremos de haloclastia, erosión, dinámica del flujo salino, degradación mineralógica, incremento en la porosidad lítica, gradientes de la temperatura interna a los que se suman los efectos de Biocorrosión lítica producidos por la colonización del líquen *Caloplaca* sp., sobre la andesita basáltica. La formulación del Método Bioquímico, incorpora secuencias metodológicas y sistemáticas de investigación en las fases de: diagnóstico, tratamiento, evaluación y monitoreo aplicados en dos etapas en los años 1999 y 2015 mediante el uso de metodologías de análisis; físicos, químicos, mecánicos y uso de tecnologías de análisis tradicionales e instrumentales modernos de alta precisión como; microscopios ópticos de luz visible y polarizada, microscopia de barrido electrónico (MEB), fluorescencia de rayos X (FRX), conductimetría, petrología, termómetro infrarrojo, psicrómetros, balanzas de precisión entre otros, cuyos resultados permiten probar la efectividad de la aplicación del método bioquímico para mitigar los efectos de patología lítica y Biocorrosión ocasionados por la colonización del líquen *Caloplaca* sp. y restablecer las condiciones de la dinámica interna y externa, para propiciar el libre flujo hídrico y térmico del sistema pétreo y evitar el repoblamiento del líquen mediante acciones de; monitoreo y mantenimiento periódico y establecer lineamientos metodológicos de carácter científico, asistidos dentro de un marco multidisciplinario.

CAPÍTULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Sitio Arqueológico de Tarawasi ubicado en el distrito de Limatambo de la provincia de Anta tiene características micro climáticas particulares que se manifiestan en dos marcadas temporadas de secas y de lluvias; la primera se desarrolla en los meses de mayo junio julio agosto acompañada de fuertes vientos febrero y alta insolación. gradientes de temperatura interna e externa viento, erosión y eventos extremos de haloclastia, y en la época de lluvias que se desarrolla en los meses de noviembre, diciembre enero y febrero con variaciones de humedad ambiental. Esta dinámica ambiental contribuyó a la instalación de los procesos de meteorización física, química y mecánica, acelerados por la colonización del liquen *Caloplaca* sp., que provocaron fenómenos de degradación física, química, producto del metabolismo la excreción de sustancias acidas ocasionando diversas patologías líticas, degradación mineralógica e incremento en la porosidad lítica, sobre la andesita basáltica.

Frente a los intentos empíricos y ausencia de métodos; eficaces, sistemáticos y científicamente estudiados para mitigar o erradicar la infestación de liquen *Caloplaca* sp., en el sitio arqueológico de Tarawasi, nos permiten formular las siguientes interrogantes.

1.2. Problema general

¿De qué manera la formulación del Método Bioquímico contribuye en la mitigación de los procesos de Patología lítica y Biocorrosión producidos por la infestación del líquen *Caloplaca* sp., Caso: ¿Sitio Arqueológico de Tarawasi- Limatambo-Periodo 1999-2018?

1.2.1. Problemas específicos.

¿En qué forma el diagnóstico de las causas del proceso de patología lítica y Biocorrosión permite describir los efectos producidos por la infestación del líquen *Caloplaca* sp., en el Sitio Arqueológico de Tarawasi?

¿De qué manera la aplicación del método bioquímico en el tratamiento de conservación permite restablecer las condiciones de equilibrio de los paramentos del sitio arqueológico de Tarawasi?

¿En qué medida la evaluación de los resultados de la aplicación del método Bioquímico contribuye a mitigar los procesos de Patología lítica y Biocorrosión, producido por la *Caloplaca* sp., después del proceso de conservación, Caso: ¿Sitio Arqueológico de Tarawasi?

¿De qué manera el monitoreo y mantenimiento contribuye a evitar el repoblamiento de la *Caloplaca* sp., luego de los tratamientos preventivos de conservación; Caso: ¿Sitio Arqueológico de Tarawasi efectuados desde el año 1999 al 2018?

1.3. Justificación

1.3.1. Contribución Científica.

El establecimiento de los lineamientos científicos de análisis aplicados en las fases de diagnóstico, aplicación, evaluación y monitoreo para mitigar las causas extrínsecas e intrínsecas producidos por la colonización del líquen *Caloplaca* sp., en el Sitio Arqueológico Tarawasi, tomaron como referente los estudios de erradicación, identificación taxonómica del líquen *Caloplaca* sp., efectuados por Gonzales R (2004) en laboratorio y estudios metodológico de diagnóstico y erradicación de líquenes por Gamarra J. 1998, para la realización del presente trabajo de investigación.

1.3.2. Contribución Metodológica.

La incorporación de las secuencias metodológicas de investigación implementados en las fases de: diagnóstico, aplicación, evaluación y monitoreo, permiten probar la efectividad de la aplicación del método bioquímico para mitigar los efectos de patología lítica y Biocorrosión a fin de restablecer las condiciones de la dinámica natural; física, química, mecánica externa e interna, para propiciar el libre flujo hídrico, térmico del sistema pétreo y evitar el repoblamiento del líquen mediante acciones de; monitoreo y mantenimiento periódico, asistidos dentro de un marco multidisciplinario.

1.3.3. Contribución Tecnológica.

La aplicación de metodologías de análisis; físicos, químicos, mecánicos y uso de tecnologías de análisis tradicionales como la conductimetría, petrología, termometría infrarroja, psicrometría, balanzas de precisión entre otros y uso de instrumentación

moderna como; microscopios ópticos de luz visible y polarizada, microscopia por barrido electrónico (MEB), fluorescencia de rayos X (FRX), nos permiten interrelacionar los resultados de manera integral para determinar las causas y efectos de la Patología lítica y Biocorrosión ocasionados por la colonización del líquen *Caloplaca* sp., en tan importante monumento arqueológico.

Los resultados de la presente investigación podrá servir de referente para la aplicación del método bioquímico en casos similares de colonización líquénica en monumentos arqueológicos y arquitectónicos de valor Patrimonial de la Región del Cusco.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

Formular el Método Bioquímico para mitigar los procesos de: Patología lítica y Biocorrosión producidos por la infestación del líquen *Caloplaca* sp. Caso: Sitio Arqueológico de Tarawasi Limatambo- Periodo 1999-2018.

1.4.2. Objetivos específicos.

Diagnosticar las causas del proceso de: Patología lítica y Biocorrosión, que permitan describir los efectos producidos por la infestación del líquen *Caloplaca* sp., en el Sitio Arqueológico de Tarawasi.

Aplicar el método bioquímico para restablecer las condiciones de equilibrio mediante el tratamiento de conservación del sitio arqueológico de Tarawasi.

Evaluar los resultados de la aplicación del Método Bioquímico en la mitigación del proceso de Patología lítica y Biocorrosión producido por la *Caloplaca* sp., después del proceso de conservación, Caso: Sitio arqueológico de Tarawasi.

Monitorear y observar mediante instrumental de campo, el comportamiento intrínseco y extrínseco de las superficies líticas liberadas del liquen para evitar el repoblamiento del liquen *Caloplaca* sp., e implementar acciones de mantenimiento y conservación preventiva.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Bases teóricas

El método Bioquímico incorporó secuencias metodológicas y uso de técnicas de análisis tradicionales y modernos tales como; equipos de conductimetría multi parámetro, petrótomos de corte, termómetros infrarrojos, psicrómetros, balanzas de precisión. Microscopios ópticos de luz visible y polarizada, microscopia de barrido electrónico (MEB), fluorescencia de rayos X (FRX), entre otros, relacionados directamente con el entorno material; lítico, suelo, condiciones ambientales cíclicas, micro climáticas, permitieron en conjunto el estudio de las causas de la Patología lítica y la implicancia de Biocorrosión producida por la colonización del líquen *Caloplaca* sp., a partir del estudio de la morfología celular y el deterioro físico causado por la penetración de las hifas a través de los espacios inter granulares (Prieto, 1995), las mismas, que se hallaron envueltas por una sustancia mucilaginoso de polisacáridos con las que se adhieren a las partículas líticas, generan tensiones internas capaces de producir alteraciones en la microestructura del material lítico como, fracturas y arranque de partículas (Ariño X, Et al.,2002).

De otra parte el proceso fisiológico de aumento de volumen del córtex del líquen sirve de protección al fotobionte y evita la pérdida de agua del exceso de sol. Durante el crecimiento y expansión del líquen provoca desagregación mecánica de la estructura lítica (Chen J. 2000) y como producto del metabolismo liquénico, excretan ácidos orgánicos con valores de pH 5.2 a 5.7, disolviendo los minerales de la piedra y

precipitándolos en forma de óxidos de hierro, geles amorfos de aluminio, sílice, oxalatos y minerales arcillosos. (Ariño X, Et al., 2002).

La bibliografía consultada en relación con la formulación y aplicación de métodos Bioquímicos o metodologías similares, son escasos o fueron propuestos y aplicados a nivel de laboratorio.

Las pruebas experimentales de otras latitudes obedecen a investigaciones permanentes para monumentos arquitectónicos de las zonas arqueológicas, así por ejemplo: para erradicar la colonización liquénica sugiere utilizar biosidas que deben cumplir ciertos requisitos mínimos y particulares (De los Ríos A. 2013), teniendo en cuenta que en el mercado existen una gran gamma de biosidas, además de realizar ensayos previos antes de su aplicación en los monumentos afectados (Fort R., 2013).

Posteriormente la formulación del “Proyecto estudio petrográfico y metodológico para la erradicación de los líquenes en el Sitio Arqueológico de Tarawasi”, realiza el diagnóstico tomando como criterios básicos; la zonificación de las áreas de colonización y estratigráfico del líquen, edafología, dinámica y concentración del flujo salino, analizados desde el sustrato térreo hasta la superficie lítica externa (Gamarra J. 1998).

Seguidamente, la formulación Tesis “Erradicación de litolíquenes del complejo arqueológico de Tarawasi” Identificó la taxonomía de los líquenes crustosos endolítico; *Caloplaca* sp., y *Flavopunctelia* sp., y caracterizó las sustancias y ácidos liquénicos a través de reacciones de micro cristalización a nivel de laboratorio utilizando sustancias químicas alcalinas para erradicar el líquen. Este estudio contó con el asesoramiento del suscrito (Gonzales R., 2004).

Los referentes empíricos e intentos locales fue el uso de ceniza de madera con pH alcalino utilizado en el mantenimiento de las estructuras arquitectónicas del Torreón circular de la Ciudad Inca de Machupicchu a fin de erradicar los lito líquenes (Cano A. 2012).

Otro referente de limpieza y erradicación de líquenes foliosos en las estructuras líticas del Parque Arqueológico de Sacsayhuamán fue la utilización de arcillas aplicadas sobre elementos líticos que tuvieron por finalidad interrumpir los procesos de fotosíntesis de los líquenes foliosos y por tanto suspender el aporte de nutrientes al componente micobionte como medio de erradicarlos (Pumacchua, E. 2014).

2.1.1. Fundamento del Método Bioquímico

Tiene como fundamento generar a través de reacciones químicas, el cambio del pH ácido del sustrato liquénico a un pH alcalino, mediante la aplicación de sustancia alcalina como el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que al entrar en contacto la estructura del ácido Lecanórico, parte componente de la estructura del córtex del talo liquénico de la *Caloplaca* sp., produce reacciones de oxidación, hidrólisis y degradación hidrolítica alcalina que provoca la ruptura del enlace éster, transformando al ácido Lecanórico en una molécula soluble en agua. La reacción se hace evidente por el cambio de coloración naranja del córtex a rojo carmesí, soluble en agua que facilita su erradicación, (Gonzales 2004),

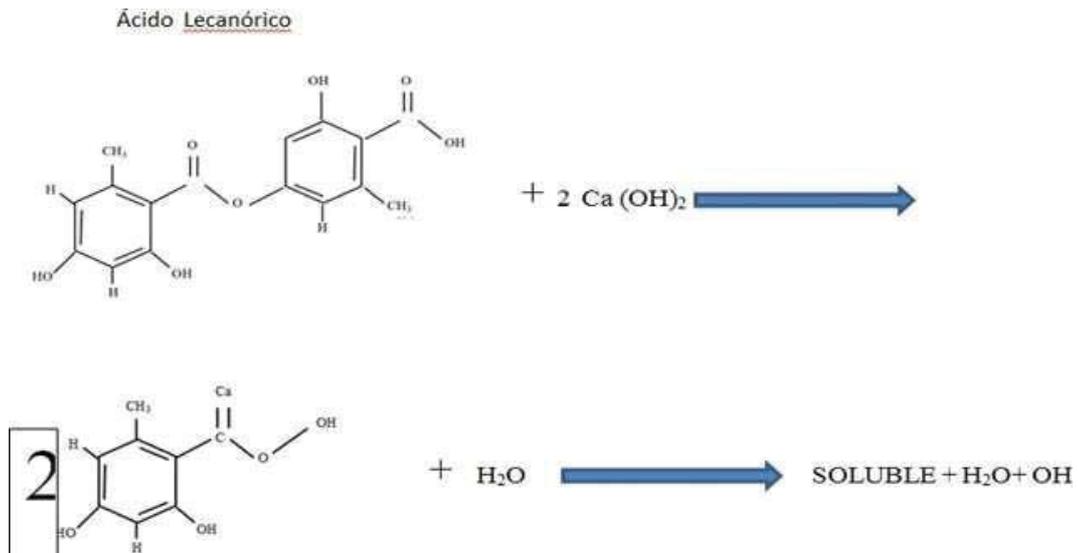


Figura 1:: Mecanismo de reacción del Método bioquímico. (JLGG)

2.1.2. Estudio del Material alcalino

La materia prima es la caliza (CaCO_3) es calcinada a una temperatura óptima de 894°C para que el carbonato de calcio pueda ser convertido en óxido de calcio o cal viva. La eficiencia de la conversión del carbonato de calcio está relacionada con la pureza del material, en tal sentido si la pureza del material es del 100% de pureza sólo podrá convertirse en 56% forma de óxido de calcio (Cal viva), y el 44% en forma de gases de anhídrido carbónico, según las condiciones óptimas de quemado y selección del material.

Reacción de conversión



caliza cal viva

El óxido de calcio al ser hidratado con agua se convierte en hidróxido de calcio (CaOH)₂ con desprendimiento de calor, expresado mediante la siguiente reacción:



Es decir que 56 Gramos de cal viva requieren 18 gramos de agua pues la relación es de un volumen de cal por un volumen de agua, pero para favorecer el apagado se requiere un exceso de agua de 6%- al 10% más, dependiendo de la forma y tamaño del material (Cal viva).

Este proceso de hidratación (Apagado) de la cal viva en conjunto sufre un incremento en el volumen total de la masa de un 48% como lechada de cal, ya que las partículas completamente hidratadas de hidróxido de calcio (CaOH)₂, aumentan su volumen. para el efecto se utilizó la Cal tipo H10.

Para la preparación de la lechada de cal según la Norma (ASTMC110), el proceso de apagado del óxido de calcio (CaO) requieren como condición la ionización del ion calcio y el ion hidroxilo para ocupar un volumen mayor a 1.3 micras y un tiempo de 15 minutos para iniciar el proceso de difusión y reactividad efectiva de los iones hidroxilos (OH) con pH 12. En estas condiciones naturales, la solubilidad del hidróxido de calcio es baja, para el efecto fue necesario realizar la homogenización enérgica a fin de formar el hidrato de 1.3 micras requerido por esta norma ASTM110.

2.1.3. Teorías de Patología lítica.

La patología lítica, involucra un conjunto de reacciones físicas, químicas y mecánicas, cuyos productos sirven de reactivos para las síntesis subsiguientes, generados por los contaminantes atmosféricos causantes de la desagregación del carbonato de calcio, transformados a sulfato de calcio, dado su carácter higroscópico, absorbe humedad del medio ambiente facilitando el crecimiento de sus cristales y estallido de los poros ocasionando exfoliaciones superficiales (Gellerier A, 1931).

El carbonato de calcio en las rocas calizas puede actuar como protector sellante de la superficie frente a los agentes meteorológicos y nefastos, porque evitaría la libre evaporación de la humedad interna, por tanto, las acumulaciones de las sales se hallan en estado líquido (Frevre A. 1937).

De otra parte, la presencia del dióxido de carbono disuelto en el aire húmedo se transforma mediante reacciones químicas en ácido carbónico que conjuntamente con los iones sulfuros de atmósferas contaminadas, pueden producir ácido sulfúrico (Noetzlin H, 1949).

Los efectos de los gases disueltos en el aire, microorganismos, sales disueltas y el paulatino crecimiento de cristales del sulfato de calcio, provocan, el desprendimiento constante de finas capas de material, erosión y pulverización de la superficie propia del material lítico, (Alvarado, 1985).

Estas patologías están directamente relacionadas con la ubicación geo topográfica a ello suma la lluvia que propicia de forma dinámica los fenómenos de transporte salino en medio acuoso e inicia a través de fenómenos de percolación y difusión y diferencia de

concentración de la solución saturada, es depositada en la porosidad de las piedras (Vargas C, et al., 2021)

Como consecuencia de la evaporación de la humedad e incremento de la temperatura se forman minúsculos cristales de hielo que ejercen presión que provocan la ruptura interna de la porosidad de la estructura lítica, denominada criptoflorescencia. Cuando ésta cristalización tiene lugar en la superficie lítica se denomina eflorescencia salina (Korzhinski, 1967).

Los fenómenos de meteorización: física, química, mecánica y térmica, están relacionados directamente con las condiciones micro climáticas cíclicas favorecen la formación de otros compuestos químicos que por evaporación y crecimiento de los cristales salinos, resultan dañinas para las estructuras internas y por consiguiente la disgregación del material (Mora, et al., 2018), visibles por la formación de; huecos, escoriación, canales, erosión, disgregación, arenización, disyunción, exfoliación, alveolización, picado, desintegración, micro excavaciones, fracturas, fisuras y pérdida de material lítico (Carrascosa B. et al., 2018).

La identificación de los niveles de meteorización: física, química y mecánica, se determinan por los efectos de deterioro que ejercen sobre los elementos líticos así por ejemplo:

El deterioro físico se evidencia cuando la superficie lítica presenta cromatizaciones, formación de costras y concreciones salinas.

El deterioro químico se produce cuando los materiales están sometidos a cambios bruscos de temperatura, dinámica del transporte del flujo salino que provoca la hidrolización de los feldespatos, cuyos productos finales son las arcillas hidrolizadas

con contenidos de óxidos de hierro y aluminio. La mezcla de estos óxidos se les denomina Laterita solubles en agua (Alvarado C, 1985).

El deterioro mecánico se evidencia cuando los materiales presentan huecos en la superficie externa tales como: escoriación, formación de canales y sin formación de huecos, erosión, desagregación, arenización, disyunción en placas y exfoliación. (Magnin A. et al., 2017).

Estos procesos; físicos, químicos, mecánicos y térmicos, no se dan de forma aislada, sino que actúan de forma conjunta y simultánea produciendo efectos significativos en la meteorización y degradación de las rocas. (Magnin A. et al., 2017).

En consecuencia, la investigación e identificación de estos factores permiten diseñar metodologías que mitiguen sus efectos (Guglielmo De Angelis, 1970).

2.1.4. La Fisiología del liquen

Taxonomía Caloplaca T_H.F_R, 1871

Reino: Fungi

Filo: Ascomycota

Clase: Lecanoramycetes

Orden: Telochistales

Familia: Telochistaceae

Género: Caloplaca

Especie: sp.

(Córdova, 1975). Identificados dentro del tipo de talos crustosos y están adheridos fuertemente a los sustratos con un conjunto heterogéneo de sustancias específicas, muchas de ellas de reacción ácida, denominados ácidos liquénicos, conformado por

unidades fenólicas, su concentración varia de 0.15 % a 10% en peso seco la mayoría son incoloros.

(Córdova C, 1975-1978). Los líquenes son seres complejos cuyos cuerpos vegetativos (talo), son el resultado de la asociación simbiótica cíclica entre al menos un hongo heterótrofo (micobionte) y un socio fotosintético (fotobionte) unicelular o cenobial que sintetizan los azúcares necesarios para el metabolismo liberando oxígeno en el proceso. Existen distintos tipos de líquenes, tales como: líquenes foliáceos, fruticulosos, crustosos y gelatinosos.

(Barreno E, 2003). Los líquenes fruticulosos forman pequeños arbustos, son erectos o colgantes con simetría radial. Los tamaños son variados desde menos de un centímetro en forma de pequeños arbustos hasta los que tienen varios metros de largo y dependen de la humedad relativa del aire para su hidratación.

(Chaparro de Valencia M, 2002). Son heterómeros con simetría radial, macizos o huecos (talo cilíndrico) o heterómeros con simetría dorsiventral (talo aplanado). Los líquenes crustáceos carecen de córtex inferior y están en estrecho contacto con el sustrato lítico y son difíciles de separarlos. Están conformados por un talo heterómero dividido en córtex superior, capa fúngica de espesor variable y puede acumular algunas sustancias como: ácido úsnico, atronotina o parietina. También poseen pigmentos coloreados en las paredes de las hifas. Las algas están en contacto físico entre los dos biontes; alga verde y cianobacterias.

(Chaparro de Valencia M. 2002). La médula; es la capa fúngica y ocupa mayor volumen del talo, también, acumula sustancias liquénicas. Posee espacios que permiten la

aireación del talo y es hidrófoba, de modo que, el interior del talo puede permanecer seco, permitiendo la circulación del aire. Sólo algunas especies conducen agua por capilaridad.

(Sipman L, 1998). Durante su proceso metabólico los líquenes, producen y excretan compuestos secundarios que no tienen nada que ver con la respiración y fotosíntesis. Estos compuestos son toxinas y compuestos antibióticos (fenoles), compuestos metalquelantes, hidrofóbicos, pigmentos oscuros y coloreados.

(Córdova, 1975-1978). Los líquenes crustáceos y calcícolas producen otras sustancias como el oxalato cálcico y lípidos a manera de minúsculas gotas que se depositan en la superficie denominadas sustancias liquénicas o ácidos liquénicos. Estas sustancias liquénicas como el ácido Üsnico y Norestíctico, son los causantes de la Quelación interiónica producto de la unión del ion metálico (hierro) y actúan en la interface piedra-liquen, ocasionando la lixiviación mineral a través de fenómenos de dimerización y oxidación la formación de pequeños agujeros en la superficie lítica, sobre los que se depositan los cristales de oxalato de calcio, considerado como sustancia de desecho. Estos se forman a partir del ácido oxálico producido por el hongo. Estos líquenes extraen del sustrato lítico, aquellos iones necesarios para completar su metabolismo y reaccionar con los iones; calcio, magnesio, sodio y potasio los que se convierten en un ácido mucho más activo que cualquier ácido orgánico.

(Okamoto T 1997). La producción de enzimas y catabolismo de las excretas órgano metálicas producen ácido carbónico que reaccionan con los iones de calcio, magnesio, sodio y potasio.

(Peraza J, 2004). Estas reacciones químicas autotróficas acidifican la superficie que habitan, iniciando los procesos de caolinización.

2.1.5. Biocorrosión lítica

(Prieto B. et al., 1995). La Biocorrosión lítica es ocasionada por la colonización de los líquenes crustosos que, por su mayor superficie y adherencia al sustrato lítico, producen alteraciones; físicas, químicas y mecánica asentadas en superficies líticas meteorizadas y condiciones micro climáticas de alta insolación y poca humedad que determinan la instalación de especies liquénicas del tipo crustáceos, de córtex grueso y pigmentado y sirven para proteger al fotobionte del exceso del sol. Este córtex durante su crecimiento, expansión y contracción, producen la desintegración del sustrato lítico.

(Gracia 2017). La penetración de las hifas del talo crustoso en la porosidad del sustrato lítico meteorizado, provocan tensiones internas capaces de producir alteraciones en la microestructura del material lítico, provocando fracturas y arranque de partículas.

(Prieto B. et al., 1995). Estas hifas adheridas a las partículas líticas y envueltas en una sustancia mucilaginosa de polisacáridos ocasionan mediante reacciones químicas la transformación de la biotita en vermiculita hidroxialumínica, neo formación de Whewellita y calcita, precipitan como carbonato de calcio y por consiguiente ocasionan el incremento del pH debido a la liberación del sodio procedente de la alteración de la plagioclasa sódica quedando los granos minerales englobados en el interior del talo.

(Córdova V, 1975-1978). La Quelación interiónica es una reacción química producida por la unión del ion metálico (hierro) con los ácidos orgánicos en la interface piedra

liquen, ocasionan la lixiviación mineral a través de fenómenos de dimerización, oxidación y formación de pequeños agujeros en la superficie lítica.

(Ariño X, et al., 2017). Los procesos de meteorización química se encuentran relacionados con los productos del metabolismo líquénico que conducen a la producción de dióxido de carbono, sustancias quelantes y ácido oxálico que ocasionan la disminución del pH circundante al talo produciendo un micro ambiente propicio para los procesos de solubilización de los minerales en la interface piedra-liquen.

(Puy Alquisá et al., 2015). La solubilización de los minerales como producto de los ácidos orgánicos; oxálicos, cítrico, glucónico, glioxílico, ocasionan la disminución en las concentraciones de óxido de; aluminio (Al_2O_3), silicio (SiO_2) y aumento en las concentraciones de; óxido de potasio (K_2O), óxido de calcio (CaO) y óxido férrico (Fe_2O_3).

(De Los Ríos A. et al., 2008). El estudio de los mecanismos de Biocorrosión lítica en monumentos arqueológicos requiere del uso de: Microscopia de barrido de electrones dispersos (SEM-BSE), microscopia laser con focal (CSLM), la microscopia de transmisión (TEM), posibilitan el estudio de minerales neo-formados y determinan el comportamiento de la ultra estructura de los microorganismos en detalle.

(Vargas C. et al., 2021). Las recomendaciones dadas en el formato (ICOMOS, 2011), establecen que es necesario iniciar el diagnóstico planificar en tres fases:

La primera, relacionados al tipo de piedra, la segunda catalogación de las lesiones según formato (ICOMOS, 2011) y la tercera el registro de humedades para identificar y

cuantificar de manera descriptiva las patologías presentes, mediante el registro fotográfico como metodología de diagnóstico y reconocimiento visual.

(Carrascosa M. et al., 2018). En este sentido, el resultado analítico obtenido en la fase diagnóstica en los laboratorios deben orientar al conservador y restaurador el uso de materiales bajo los principios de compatibilidad y reversibilidad de los procedimientos, manteniendo la instancia estética e histórica del contexto con conocimiento del valor patrimonial, necesarios en la formación de la conciencia ciudadana y sostenible para el desarrollo social

2.2. Marco conceptual

Algas

Las algas son de color verdes (Phylum Chlorophyta), azules (Fotobiontes), encostrados de color naranja, adherida con firmeza al substrato, observable como una capa de pintura que a menudo se desarrollan sobre las rocas (Córdova, 1975).

Alveolización

Consiste en la aparición de una red bastante continua de cavidades alveolares, que pueden estar siendo originadas por la disolución o hidrólisis seguida de disolución de determinados minerales calcita, yeso. Por la acción del viento cargado de partículas y por la acción de las raíces de plantas. Este fenómeno es relativamente común en calizas, areniscas con cemento carbonatado y en rocas porosas (P. Higuera y R. Oyarzun, 2000).

Arenización

Es característica de los granitos y se debe a la meteorización de los feldespatos para dar minerales arcillosos, que son eliminados con facilidad, quedando sueltos los granos de cuarzo. La disgregación es típica de las areniscas, por disolución del cemento carbonatado o pérdida de la matriz arcillosa, lo que libera los granos (J Ordaz y R, M Esbeert, 1998).

Biosidas

Son productos de acción tóxica contra determinados organismos. El término sustituye a “pesticida”, cuya etimología indica que hace referencia a la eliminación de organismos infecciosos o “peste”. Ante la subjetividad de este concepto se ha optado por emplear la palabra “biosida”, cuyo significado es más objetivo y preciso (Caneva et al., 1994).

Biodeterioro

Son ciertos cambios indeseables en las propiedades físicas y químicas de un material causados por la actividad vital de algunos organismos, que producen alteraciones particulares y se desencadenan cuando los organismos colonizan un sustrato en avanzado estado de deterioro (H. J. Hueck, 1965-1968).

Biom mineralización

Precipitación de materia mineral inducida por microorganismos, se relaciona con el último estadio de pátina biológica y puede dar lugar a la formación de distintos productos (Bolívar y Sánchez-castillo, 1997).

Biopátina

Se designa a las formaciones de microorganismos sobre un sustrato, normalmente pigmentadas de diferente color que el sustrato original, incluyendo fenómenos físico químicos. Las pátinas biológicas pueden adoptar diversas estructuras: pústulas, películas, tapetes y costras (Sánchez Castillo y Bolívar Galiano, 1997).

Capilaridad

La capilaridad es una propiedad de los fluidos, que depende de su tensión superficial, la cual a su vez dependen de la cohesión del líquido y que le confieren la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar.

Carbonatación

Proceso de deterioro químico por el cual un mineral compuesto de calcio, magnesio, potasio, sodio y/o hierro, se transforma por reacción con dióxido de carbono en carbonatos o bicarbonatos, susceptibles de sufrir daños por acción de los microorganismos que excretan dióxido de carbono como metabolito (Sand, 1997).

Colonización o infestación.

Se produce mediante procesos de adhesión y adsorción al sustrato que se ven influidos por las características del mismo y de los propios organismos. Ocupación de un sustrato por organismos vivos. El término no tiene connotaciones necesariamente negativas

(Córdova C 1975).

Concreciones

Depósito o masa de agregados minerales, producto de la precipitación del carbonato cálcico proveniente del sustrato (J. Ordaz y R.M. Esbeert, 1998).

Costras

Lámina compacta de material externa de la piedra producto de la transformación superficial y cuya naturaleza química, mineralógica, con características físicas distintas del sustrato pétreo son identificables por su color (costras negras, hollín y polvo). (J. Ordaz y R.M. Esbeert, 1998).

Cuarzo

Está formado por gruesos granos cristalinos de fractura conchiforme y generalmente en colores o grises, es inalterable por los agentes atmosféricos y se dañan por medio de una acción mecánica, ruptura o desprendimiento. (Diccionario. La Rousse 2012).

Degradación

Tendencia de un material rocoso a alterarse generalmente a corto plazo (escala histórica o humana). Es concepto inverso al de durabilidad. T.r.: Meteorabilidad, Alteración. (J. Ordaz y R. M. Esbeert, 1998).

Desagregación

Alteración física (mecánica) y debilitamiento de las cualidades resistentes de una piedra, se traduce generalmente en pérdida del material (granos). T.r.: Arenización, Pulverización, Descohesión. (J. Ordaz y R. M. Esbeert, 1998).

Eflorescencia

Capa o formación de cristales de sales solubles de color blanquecino, que se forma en la superficie de una piedra porosa debido a fenómenos de migración y evaporación de agua conteniendo sales solubles. (J. Ordaz y R. M. Esbeert, 1998).

Sub eflorescencias

Agregado cristalino de carácter salino situado por debajo de la superficie de una piedra, pero muy cerca de ella. (J. Ordaz y R. M. Esbeert, 1998).

Cripto florescencia

Agregados cristalinos situados más internamente en la piedra que las sub eflorescencias. (J. Ordaz y R. M Esbeert, 1998).

Erosiones superficiales

Se aplica a los procesos físicos, químicos y biológicos que conducen a la disminución del relieve y pérdida de material (J. Ordaz y R. M Esbeert, 1998).

Etiología

La etiología es la ciencia que estudia las causas de las cosas. En medicina (patogénesis) se refiere al origen de la enfermedad. La palabra se usa en filosofía, biología, física y psicología para referirse a las causas de los fenómenos. (Diccionario. La Rouse 2012).

Excavaciones y cavernas

Consiste en la aparición de huecos individualizados de ciertas dimensiones en centímetros. Suele ocurrir en rocas fundamentalmente no porosas, que sin embargo poseen nódulos de minerales solubles. (J. Ordaz y R. M. Esbeert, 1998).

Exfoliación o descamación

Levantamiento y separación de una o más lascas o capas (alteradas o no) de espesor uniforme (varios milímetros), paralelamente entre sí y planos estructurales o de debilidad de la piedra (foliaciones, discontinuidades). (J. Ordaz y R. M. Ebert, 1998).

Feldespatos

Definido como silicato doble de alúmina resultante de la combinación de sílice y alúmina, se caracteriza por su estructura laminar de color variable. Los rosados (ortoclasa) son feldespatos potásicos y los blancos (plagioclasas) son feldespatos sódico o calizo y cuando están mezclados se les denomina: Feldespatos sódicos-calizo (oligoclasa) formando la investía y labradorita. (J. Ordaz y R. M. Esbeert, 1998).

Fisuras

Discontinuidad planar, macroscópica o microscópica (micro fisura) de diverso origen y dimensiones variables. (J. Ordaz y R.M. Esbeert, 1998).

Fractura o hendidura

Consecuencia de esfuerzos mecánicos inducida por los ciclos térmicos de hielo, deshielo, humedad y sequedad. T.r.: Fractura. (J. Ordaz y R.M. Esbeert, 1998).

Hidrólisis

Alteración química o descomposición de una sustancia mineral por el agua, afecta fundamentalmente silicatos, genera reacción sobre minerales arcillosos (caolinización, sericitación) T.r.: Descomposición. (J, Ordaz y R. M. Esbeert, 1998).

Hongos

Son células sin cloroplastos y membrana celulósica con o sin quitina, sus células se disponen en filamentos denominados hifas las que en conjunto se denominan micelio, (Córdova, 1975).

Lixiviación

Separación o disolución de componentes solubles de una piedra, producto de la acción de las aguas percolantes. Lavado de la superficie externa de las piedras. T.r.: Zona de lavado. (J. Ordaz y R.M. Esbeert, 1998).

Meteorización

Son pérdidas de material rocoso concentradas fundamentalmente en la superficie expuesta, suelen ocurrir sobre rocas de carácter masivo, como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos y fisico-químicos, con la participación de agentes biológicos. (J. Ordaz y R.M. Esbeert, 1998).

Oxalato Cálcico

Los cristales de oxalato de calcio tienen una muy baja solubilidad, son insolubles en ácido acético pero soluble en ácido clorhídrico concentrado y ácido sulfúrico dan como resultado cristales de sulfato de calcio. Usadas para identificar los cristales como compuestos de oxalato de calcio (Netolitzky, 1929).

Oxidación

Reacción química del oxígeno con una sustancia mineral con formación generalmente de óxidos. El incremento de volumen de los óxidos resultantes puede contribuir asimismo a la formación de descohesiones y desagregaciones granulares. (J. Ordaz y R.M. Esbeert, 1998).

Pátina

Capa o película superficial y delgada que se forma sobre las piedras por diversas causas. Modificación superficial del material que no implica necesariamente procesos de degradación o deterioro, producto del intercambio de materia y energía con el medio circundante (Dornieden et al., 2000).

Pitting

Degradación puntiforme caracterizada por la formación de múltiples agujeros ciegos, cercanos entre sí y generalmente con forma cilíndrica. A veces aparece traducido al español como “punteado” o “picado”. Cuando el tamaño de los agujeros supera los pocos milímetros se habla de cratering (Caneva Giulia, 1992).

Precipitación

Fenomeno fisicoquímico mediante el cual las concentraciones saturadas de sales en solución pasan al estado sólido por evaporación del solvente en la superficie de materiales poroso acelerando la cristalización que implica un aumento de volumen y por consiguiente tiende a aumentar el grado de fracturación o del tamaño de las cavidades. (Dorsat, 1982).

Sustancias Liguénicas

Se trata de productos del metabolismo secundario que se depositan en el talo (Culberson, 1969) y desempeñan un papel importante tanto en la fisiología de los líquenes (Armaleo, 1993) como en su clasificación taxonómica.

Sustrato

Desde el punto de vista del biodeterioro se puede entender este término, como la superficie lítica donde se asientan distintas comunidades orgánicas sobre todo cuando

no se efectúan trabajos de limpieza y mantenimiento, ni se controla el crecimiento con algún tipo de biosida. (Samaña Marta, García Jorge, 1995).

Taxonomía

Taxonomía biológica, la ciencia de ordenar la diversidad biológica en taxones anidados unos dentro de otros, ordenados de forma jerárquica, formando un sistema de clasificación (Córdova, 1975).

2.2. Términos sistematizados para designar indicadores de alteración.

Tabla 1: Términos sistematizados para designar indicadores de alteración.

Términos genéricos

Alteración	Alteración atmosférica	Corrosión
Alteración diferencial	Alteración antrogénica	Descomposición
Degradación	Alteración de conjunto	Decohecion-Bioalteracion
Indicadores de Alteración		
Modificadores superficiales		
Cromatizaciones	Costra	Deposito superficial
Limonitización	Calcín	Concreción
Tinción	Sulfín	Incrustación
Moteado	Biocostra	Eflorescencia
Pátina		Sub eflorescencia
Patinadura		Cripto florescencia
Eliminación de materia		
Conformación de huecos		
Acciones mecánicas	Acciones Fisicoquímicas	Varias acciones simultáneas
externas		
Escoriación	Cavernas	Cancerización
Estriado	Alveolización	
Acanalación	Picado	
Vermiculación	Excavación	
Sin información		
Acciones mecánicas		Descohesiones
Erosión		Desagregación
Corrosión		Disgregación
		Arenización
		Pulverización
Deformaciones	Rupturas	Disyunciones
Hinchamiento	Fracturación	Separación en placas
Combatimiento	Fisuración	Exfoliación
Ampollas	Fragmentación	Descamación
		Separación de películas

Fuente: Diagnosis y tratamiento de la piedra. Universidad de Sevilla España.1989.

2.3. Antecedentes Empíricos de la investigación (Estado del arte)

2.3.1. Antecedentes internacionales

Adamo P. (1993). Identifica los efectos de la meteorización de las rocas máficas producidos por los líquenes debido a la adhesión íntima del talo ocasionado por la penetración de las hifas en la superficie de la piedra, provoca desagregación física y fragmentación de la superficie mineral se debe esencialmente a la excreción de los ácidos orgánicos secretado por el microbionte.

Ascaso C. y Wierzchos J. (1994). Aplica técnicas sub microscópicas en el estudio del Biodeterioro producido por talos liquénicos para conocer la morfología celular de los organismos y la relación existente entre las hifas de la parte inferior y superficial de la roca mediante el uso de técnicas sub microscópicas y realizar seguimiento de las fisuras bajo el talo liquénico y observar los elementos de naturaleza biológica presentes en las células.

Prieto B. (1995). Estudia la colonización del liquen de las iglesias de granito en Galicia (noroeste de España).que produce el deterioro físico producido por los líquenes causada por la penetración de las hifas a través de los huecos ínter granulares, los cuales pueden llegar tan profundo de 0.5 cm y contribuyen a producir disgregación en la roca.

Chen J, (2000). Investiga los efectos de meteorización de las rocas producidos por la colonización del liquen durante la expansión y contracción del talo que producen deterioro; físico, químico y mecánico en los sustratos líticos producto de la penetración

de las hifas en el interior de las piedras causan desagregación mecánica produciendo fracturas y rompimientos de las estructuras originada por cristalización de sales orgánicas e inorgánicas producidas durante el metabolismo del líquen los que se complementan con el efecto químico es ocasionado por ácidos orgánicos que disuelven los minerales, precipitándolos en formas de óxidos de hierro, geles amorfos de aluminio, sílice, formación de oxalatos y minerales arcillosos y transforman la biotita en Vermiculita hidroxialumínica, neo formación de Whewellita y calcita, que luego precipitan como carbonato de calcio, atribuido al incremento del pH debido a la liberación del sodio procedente de la alteración de la plagioclasas sódica, quedando los granos minerales englobados en el interior del talo líquénico.

Ariño Vila Xavier & Gómez-Bolea Antonio (2002). Analiza los factores biológicos y abióticos de los líquenes que afectan a la colonización de los sustratos pétreos, así como caracteriza la condición micro climático y fisicoquímica del sustrato lítico, como responsables del deterioro lítico y tienen la capacidad de crecer sobre las superficies de las rocas. Proceso que implica la capacidad de un sustrato de albergar, desarrollar y multiplicarse sobre los sustratos pétreos en una sucesión de tiempo de ciclo más lento (sucesión primaria) en sustratos líticos que propician cambios en el pH, temperatura y concentración de oxígeno, composición mineral del sustrato con presencia de mayor rugosidad, las cuales proporcionan mejores lugares para la instalación de comunidades Saxícolas sobre rocas acidas con características micro climáticas particulares de alta insolación y poca humedad, determinan la instalación de las especies crustáceas de córtex grueso y pigmentado que protegen al fotobionte de la pérdida de agua y exceso del sol.

De otra parte, el aumento del grosor del córtex permite el crecimiento, expansión, contracción propician alteraciones mecánicas de desintegración de los sustratos producidos por la penetración de las hifas que se encuentran envueltas en una sustancia mucilaginosa de polisacáridos y adheridas a las partículas líticas, las cuales generan tensiones internas capaces de producir fracturas y arranque de partículas en la microestructura del material lítico.

Estos procesos bioquímicos conducen a la producción de dióxido de carbono, sustancias quelantes y ácido oxálico como, producto de su metabolismo, los cuales facilitan la perforación de la piedra como conexión con el medio exterior necesarios para la expansión y dispersión de sus esporas.

2.3.2. Antecedentes latinoamericanos

Rosato V. (2010). En su estudio realizado “Los líquenes como posibles agentes de deterioro de las areniscas en las ruinas Jesuíticas de San Ignacio Mini (Provincia de Misiones Argentina). *Materiales de Construcción* Vol. 60, 299, 145-153 ISSN: 0465-2746 EISSN: 1988-3226 doi:10.3989/mc.2010.51209. La Plata, Argentina.

Objetivo general:

Determinar los posibles agentes deterioro, ocasionados por los líquenes sobre rocas areniscas en las ruinas Jesuíticas de San Ignacio Mini.

Conclusiones:

1. Determina, que las superficies líticas de las rocas areniscas de este monumento se hallan alteradas por la pérdida del cementante limo-arcilloso y las que son arrastradas por el agua mediante acción mecánica.
2. La acción de los microorganismos asociados a su clima subtropical, producen el aumento de la porosidad de la roca y facilitan la absorción de agua haciéndolos más friables.

Magnin Lucia Angélica, Lynch Virginia y Gracia Renato (2017).

Avances en “el estudio del Biodeterioro asociado a la presencia de líquenes en materiales arqueológicos líticos de Santa Cruz, Argentina”.

Objetivo general:

Estudiar los efectos del Biodeterioro ocasionado por la colonización del líquen en materiales líticos arqueológicos.

Conclusiones:

1. Analiza la diversidad de especies liquénicas y reconocen cuatro tipos de Bioalteraciones asociadas a micro fracturas internas, perforaciones y desagregación superficial de la roca.
2. Entre los morfo tipos identificados se encuentran los líquenes; foliosos y crustosos.
3. Estudio de las Bioalteraciones de los caracteres funcionales, específicos y tecnológicos del material lítico arqueológico, producen pérdida de información.

Magnin Lucia Angélica, Lynch Virginia y Gracia Renato (Los líquenes en materiales arqueológicos líticos ISSN 0373-580 X Bol. Soc. Argent. Bot. 52 (3): 409-422. 2017, división Arqueología, FCNyM - Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP - Universidad Nacional de La Plata, CONICET.

Objetivo general:

Estudiar los efectos físicos, químicos y biológicos, producidos por la instalación de los líquenes crustosos sobre las superficies líticas.

Conclusiones:

1. Los efectos físicos, comienzan con la penetración de las hifas a través de la porosidad de la roca provocando daños por meteorización; física y mecánica.
2. Los efectos químicos, están relacionados con los procesos metabólicos liquénicos.
3. Otras especies pueden secretar ácidos orgánicos simples como: el cítrico, láctico y glucónico.
4. La disolución del anhídrido carbónico (CO_2) genera ácido carbónico que reduce el valor del pH circundante del talo y produce un micro ambiente propicio para solubilizar los minerales en la interface piedra-liquen.
5. Los procesos; mecánico y químico, no se dan de forma aislada, sino que, actúan en forma simultánea y producen efectos significativos en la meteorización y degradación de las rocas.

Carrascosa Begoña y Medina Lorente Olga (2018). Investigación, intervención y didáctica para la conservación y restauración del Parque Arqueológico de Cochasqui (Ecuador). Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia (España).

Objetivo general:

Conservar y restaurar dos plataformas cerámicas ubicadas en la cúspide de la pirámide Preincaica de Cochasquí, Ecuador.

Conclusiones:

1. Identifica los factores climáticos: viento, lluvia, gradientes de temperaturas y humedad relativa.
2. Formula materiales de reposición con mezcla de arcilla cal y aglutinantes sintéticos.
3. Aplica en la fase de diagnóstico los principios de reversibilidad y compatibilidad.
4. Hace uso de los resultados analíticos obtenidos en los laboratorios.
5. Realiza acciones de sensibilización patrimonial con prácticas pedagógicas orientadas a alumnos de distintos grupos etarios.
6. Organiza y difunde la importancia del valor patrimonial entre conservadores y restauradores para la formación de la conciencia ciudadana, a fin de recuperar la memoria histórica de forma sostenible en el desarrollo social.

Lorenzo Mora Francisca, Carrascosa Molinier Begoña 2019 “Influencia de los aditivos orgánicos en la resistencia a la cristalización de las sales en morteros tradicionales de cal con distinto árido. Análisis de caso Sitio arqueológico La Blanca Guatemala” Devenir - Revista de estudios sobre patrimonio edificado6(12):11-26, OI:10.21754/devenir.v6i12.741.

Objetivo general:

Determinar la influencia de los aditivos orgánicos en la resistencia a la cristalización de las sales en morteros tradicionales de cal con distinto árido. Análisis de caso. Sitio arqueológico. La Blanca Guatemala.

Conclusiones:

1. Los estucos con pasta de cal aplicados como revestimientos en las pinturas murales minuciosamente mezcladas con compuestos volcánicos y meteoríticos, aumentan la dureza y resistencia del revestimiento una vez carbonatada.
2. La utilización de productos sintéticos, pueden tener éxito en objetos de museo, pero no así en momentos arqueológicos con condiciones climáticas cambiantes porque ocasionan daños irreversibles
3. En el campo de la conservación arqueológica es imprescindible apostar por soluciones y alternativas para el uso de materiales compatibles más afines al medio.

2.3.3 Antecedentes nacionales.

Ramírez Ángel. Cano Asunción (2005). En su estudio “Liquenobiota de la localidad de Pueblo Libre (Huaylas, Ancash, Perú”.

Objetivo general:

Estudiar de la liquenobiota en la localidad de Pueblo Libre, Perú.

Conclusión:

Se identifican caracteres, macroscópicos y microscópicos de 38 especies agrupadas en 29 géneros y 17 familias mediante reacciones químicas que permitieron identificar 34 nuevas especies para la liquenobiota peruana.

2.3.4. Antecedentes locales.

Díaz T. (2003). Evaluación del estado de conservación del Complejo Arqueológico de Tarawasi. Repositorio Biblioteca Central Instituto Nacional de Cultura Cusco.

Objetivo general:

Evaluar el estado de conservación del Complejo Arqueológico de Tarawasi.

Conclusiones:

1. Formula criterios de toma de muestras no sectorizadas.
2. Identifica la naturaleza lítica del paramento como Grano Diorítica Hipabisal
3. Identifica el liquen como de talo crustoso.
4. Identifica sales de nitritos y nitratos en la parte inferior de las hornacinas del segundo andén.

Revista “Visión Cultural (Instituto nacional de Cultura Cusco (1995). “Limpieza de los muros afectados por los hongos en el Sitio Arqueológico de Tarawasi”

Se intenta eliminar los líquenes con utensilios metálicos y agua hervida a manera de práctica con alumnos Curso Taller del Convenio Perú España, sin resultados. p.11

Gamarra J. (1998). En el “Proyecto de Estudio Petrográfico y metodológico de erradicación de los líquenes en el S.A. Tarawasi”. (Dirección Regional de cultura Cusco-1998).

Objetivo general:

Estudiar los factores externos e internos de la Patología lítica producidos por la colonización del líquen *Caloplaca* sp., en el sitio arqueológico de Tarawasi.

Conclusiones:

1. Realiza el diagnóstico tomando como criterios básicos; la zonificación de las áreas de colonización, estudio estratigráfico del líquen, análisis edafológico, dinámica y concentración del flujo salino, desde el sustrato terreo hasta la superficie lítica externa.
2. Estudia las variaciones del entorno ambiental (temperatura media, anual, humedad relativa, cambios térmicos; externos y superficiales de los elementos líticos).

Gonzales Roxana (2004). Realizado en la tesis “Erradicación de Litolíquenes del Complejo Arqueológico de Tarawasi (UNSAAC).

Objetivo general:

Erradicar los Litolíquenes del Complejo Arqueológico de Tarawasi.

Conclusiones:

1. Propone cuatro tipos de tratamiento químico a nivel de laboratorio para erradicar los lito líquenes en Tarawasi. El tratamiento con cal viva es el más efectivo.

2. Estudia e identifica: Los líquenes crustosos endolíticos; *Caloplaca* sp., y *Flavopunctelia* sp., y caracteriza las sustancias lito líquénica a través de reacciones de micro cristalización en el sustrato piedra-liquen, asistido por el suscrito como asesor en la referida tesis.

Comisión Técnica de Biodeterioro. Informe. N°029.2012-RFZ-ZSALC.SDPA-DCPCI-DRC/MC-CUS

Objetivo general:

Aplicar ceniza de madera en el Torreón Circular de la Ciudad Inca de Machupicchu para eliminar los líquenes *Caloplaca* sp., y *Lepraria* sp.

Conclusión:

Se logra eliminar parcialmente la colonización de los líquenes. *Caloplaca* sp., y *Lepraria* sp.

Congreso Internacional” Cambio Climático y Biodeterioro en el Patrimonio pétreo de Machupicchu-2013”

Objetivo:

Abordar problemática y posibles soluciones para combatir los líquenes que afectan el Parque Arqueológico de Machupicchu.

Conclusiones:

Plantean estrategias para el análisis y control biológico de los líquenes como producto del cambio climático.

Se observó que sobre la superficie de las piedras un sin número de líquenes que forman manchas, blancas, verdes, negras y pardas que ponen en riesgo la conservación de estos monumentos y afectan la calidad visual del monumento.

Asunción de los Ríos (2013). “Congreso Internacional de Biodeterioro Machupicchu”.

Objetivo general:

Determinar la naturaleza de la colonización liquénica en los paramentos de Santuario Histórico de Machupicchu.

Conclusiones:

1. Existen dos tipos de deterioro en las rocas: una generada por líquenes epilíticos totalmente integrados a las piedras y otra endolítica cuyos daños son causados por el componente fúngico del líquen.
2. Es importante realizar un buen diagnóstico antes de eliminar líquenes u otros organismos de los monumentos, pues un método no adecuado puede provocar la

dispersión de esporas y fragmentos de talos liquénicos que estimularían una rápida recolonización de la roca con nuevos líquenes.

3. Las metodologías empleadas en otras latitudes obedecen a investigaciones permanentes en los monumentos arquitectónicos de las zonas arqueológicas de cada país.

Fort Gonzales, Rafael (2013); “Utilización de láser y biosidas para la eliminación de líquenes” Instituto de Geo ciencias (CSIC-UCM).

Objetivo general:

Utilizar rayos láser y Biosidas para eliminar los litolíquenes.

Conclusión:

La aplicación de biosidas para la eliminación de los lito líquenes, deben cumplir ciertos requisitos mínimos para su aplicación, teniendo en cuenta que en el mercado existen una gran gama de biosidas que antes de aplicarlos se deben realizar ensayos en los monumentos afectados.

Pumacahua E. (2014). Realiza estudio de caso: “El empleo de arcilla en el Parque Arqueológico de Sacsayhuamán” (Informe Técnico Dirección Regional de Cultura (D.R.C).

Objetivo general:

Emplear arcillas para interrumpir los procesos de fotosíntesis de los líquenes foliosos en el parque Arqueológico de Sacsayhuamán.

Conclusión:

El uso de arcillas aplicados sobre piedras; calizas, andesitas y dioritas colonizadas por líquenes foliosos interrumpen los procesos de fotosíntesis y aporte de nutrientes al componente micobionte de líquen foliosos.

Silva Omar L. (2017). En la tesis “Determinación de los Agentes de Biodeterioro en el Monumento Pétreo del Templo de San Pedro, Centro Histórico del Cusco” (UNSAAC Cusco).

Objetivo general:

Determinar los Agentes de Biodeterioro en el Monumento Pétreo del Templo de San Pedro, Centro Histórico del Cusco.

Conclusiones:

1. Las mayores concentraciones de algas están conformadas por *Peridium* sp., *Cosmarium* sp., *Hantzschia* sp., y los líquenes *Caloplaca* sp., *Xanthoria* sp., *Candelina* sp., se hallan en mayor cobertura en los paramentos.

2. El género *Didymidon* sp., cubre una parte considerable de las zonas 6 y 7.

Las plantas superiores rodean casi todas las zonas, siendo las más afectadas las zonas 6, 7, 8, y 9, con mayor cantidad de individuos y número de especies de los géneros *Jarava* sp., y *Tillandsia capillaris*, propician mayor daño y cobertura.

Pumacchahua E. (2018). Realiza Tesis de: “Los efectos de la Lecidea sp., en elementos líticos del sector Baluartes Sacsayhuamán Cusco.

Objetivo general:

Determinar los efectos de la Lecidea sp., en elementos líticos del sector Baluartes del Parque Arqueológico de Sacsayhuamán Cusco.

Conclusiones:

1. Determina la característica morfológica de Lecidea sp.
2. Identifica que el líquen Lecidea sp., corresponde a un líquen crustosos constituido por talo endolítico y heterómero condición que dificulta separarse del sustrato que coloniza.
3. Los líticos procedentes de canteras de roca caliza colonizadas en 89.3% por el líquen Lecidea sp., se encuentran en proceso de formación de callos y corrosión superficial y el 10.7 % se hallan con alveolización y erosión superficial.

Vargas Febres Carlos, Achahui Álvarez Aris, Rodríguez Salas Danna (2019)

“Patologías mecánicas en elementos líticos de las iglesias Patrimoniales en la Plaza Mayor de Cusco” Universidad Andina Cusco. Perú

Objetivo general:

Identificar las patologías existentes por medio de técnicas no destructivas e invasivas en la Catedral del Cusco e iglesia de la Compañía de Jesús del Cusco.

Conclusiones:

1. El empleo de la metodología no experimental, descriptiva y transaccional son descritas en tres fases: relacionados a los tipos de piedras, catalogación de las lesiones (formato ICOMOS, 2011) y el registro de humedades.
2. Los agentes contaminantes en todas las edificaciones son producto del tiempo y exposición solar, factores que causan daños irreversibles en el Patrimonio Cultural.
3. El 75% de los elementos arquitectónicos como; cornisas y arcos de medio punto, son de rocas andesitas, rocas sedimentarias, empleadas en las cornisas, pináculos, evidencian patologías mecánicas como grietas, ampollas, estallidos, disgregación, fragmentación, erosión, perforación y faltantes.
4. La causa principal es la meteorización térmica debido a su ubicación geo topográfica que propician el crecimiento de agentes bióticos y químicos que interactúan con las estructuras líticas, ocasionando daños en la arquitectura colonial.
5. El registro de los tipos de roca, lesiones, humedades de la edificación están sectorizados en las fachas; laterales, torre y cuerpo central, sub divididos en elementos arquitectónicos específicos como; cornisas y arcos de medio punto.
6. Los catálogos de las lesiones se desarrollan a través del registro fotográfico mediante técnicas instrumentales y planimetrías, cuantificación estereológicos y cartográfica.
7. El reconocimiento visual se realiza mediante el análisis del entorno, orientación, clima, contaminación ambiental y entorno antrópico, impresos en fichas tomados del método de ICOMOS, 2011.

Huisaraymi L. y Quispe Nory (2021) Tesis de Grado. Identificación de fitopatologías de los paramentos externos prehispánicos en la calle conquista cusco”

Objetivo:

Identificar las lito patologías que presentan los paramentos externos y solera de encauzamiento de la Calle Conquista Cusco.

Conclusión:

1. Los resultados obtenidos en la identificación de lito patologías para la calle Conquista del Cusco, muestran tres tipologías:

Lito patologías físicas (Humedad por infiltración capilaridad), mecánicas (pandeos y grietas) y lito patologías químicas (eflorescencias, concreciones y Bioalteraciones por algas hongo y líquenes.

Conjunción de factores, como la caracterización petrográfica, acciones antrópicas, biológicas, climáticas, presencia de mortero y los movimientos sísmicos.

Cuantifica que el 67% del conjunto lítico están afectadas por una o más lesiones

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis general

La formulación del Método Bioquímico contribuye en la mitigación de los procesos de Patología lítica y Biocorrosión de los efectos producidos por el líquen *Caloplaca* sp., caso: Sitio Arqueológico de Tarawasi- Limatambo- Periodo 1999-2018.

3.1.1. Hipótesis específicas

El diagnóstico describe las causas de: patología lítica y Biocorrosión de los efectos producidos por la infestación del líquen *Caloplaca* sp., en el Sitio Arqueológico de Tarawasi.

La aplicación del método bioquímico en el tratamiento de conservación ha probado que establece las condiciones de equilibrio de los paramentos líticos del sitio arqueológico de Tarawasi.

La evaluación de los resultados de la aplicación del método Bioquímico ha probado su efectividad en la primera y segunda aplicación 1999 y 2015 para la mitigación de los procesos de patología lítica y Biocorrosión producidos por la *Caloplaca* sp. Después del proceso de conservación, Caso: Sitio Arqueológico de Tarawasi.

El monitoreo y mantenimiento contribuye a evitar el repoblamiento de la *Caloplaca* sp., luego de los tratamientos preventivos de conservación; Caso Sitio Arqueológico de Tarawasi efectuados desde el año 1999 al 2018.

3.2. Identificación de las variables e indicadores:

Variables independientes: Método Bioquímico de mitigación.

Variables dependientes: Diagnóstico, Tratamiento, Evaluación y Monitoreo.

3.3. Operacionalización de las variables.

Tabla 2: Operacionalización de las variables (2018)

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Método Bioquímico	Fundamento: Generar reacciones químicas para el cambio del pH ácido del sustrato liquénico a un pH alcalino que facilita su erradicación. Mitiga los efectos de patología lítica y Biocorrosión y restablece condiciones equilibrio del sistema pétreo sectores 1 A y 2 A	Reacciones de, deshidratación, hidrólisis, oxidación. Mitigación de efectos de colonización del liquen Restablecimiento de las condiciones equilibrio pétreo .Eficiencia del método	Cambio de pH del sustrato liquénico de 5.23 a pH 6.6 mediante el uso del hidróxido de calcio para la eliminación del liquen. Mitiga los efectos de colonización: Sector 1A: 92%, los subsectores más afectados: s3, s4, s5, s6 y s7, eficiencia de 85%. Sector 2A 41%, los sub sectores más afectados : s9, s10, s11, s12, 13, s14, s15, s16, s17, s18, s19, 20s, s21, s22, s23 y s24.
Diagnóstico	Relaciona el ámbito de estudio, descripción arquitectónica, variables meteorológicas, técnicas de: registro gráfico, fotográfico, cuantificación de áreas, técnicas de: recolección y preparación de muestras, análisis instrumental tradicional y moderno, aspectos de bioseguridad, sectores 1 A y 2A	Patología lítica	Mide variables climatológicas externas temperaturas máximas de 25°C a 5°C en los meses de junio, julio y precipitaciones pluviales de 171 mm de noviembre a marzo. Mide la variabilidad térmica de las piedras desde 8°C a 26°C. Textura edafología franco arenoso. pH. 6.6 a pH 10.23. Mide la dinámica de flujo salino sector 1 A:54% y sector 2 A 58%. - La petrología identifica los elementos líticos como andesita basáltica. - La microscopía de polarización y fases determina la micro estructura del liquen. - La Fluorescencia de rayos X y microscopía de barrido electrónico de elementos líticos meteorizados y colonizados determinan la composición química elemental y la microestructura interna del liquen.
		Biocorrosión	La estratigrafía microscópica, determina el pH de interfase liquen/ piedra Identifica la estructura del talo liquenico y sub productos metabólicos del liquen. Identifica líticos meteorizados; sector 1 A 86% y colonizados 93% y en el sector 2 A: lítico meteorizado 90% y colonizado 90%
Tratamiento de conservación	Establece criterios teóricos y prácticos para la aplicación secuencial y organizada del método bioquímico que permite restablecer las condiciones de equilibrio del sitio arqueológica de Tarawasi	Patología lítica	Restablece las condiciones de equilibrio del sistema y mitiga los procesos meteorización producidas por la Patología lítica en los sectores 1 A y 2 A
		Biocorrosión	Restablece las condiciones de equilibrio del sistema pétreo e inhibe las secuelas de la Biocorrosión lítica en los sectores 1 A y 2 A
Evaluación	Analiza, interpreta y mide los efectos de la aplicación del método bioquímico que mitiga cualitativa y cuantitativamente, la patología lítica y Biocorrosión de los sectores 1 A y 2A	Patología lítica	Mitiga los efectos en, Suelos salinos: sector 1A 54%, y en el sector 2A 58%. En líticos: meteorizados: sector 1 A 86%, y lítico colonizado 93%. En el sector 2A: lítico meteorizado 90%, y lítico colonizado 90%
		Biocorrosión	En el año 1999, sector 1 A: La patología lítica es mitigada en 17% y la Biocorrosión es mitigada de 92 % a 7%, evaluado en el año 2015 y a 1% evaluado en el año 2018. El % de mitigación fue de 93%. En el sector 2 A, la patología lítica es mitigada en 23% y la Biocorrosión es mitigada de 41 % a 1% evaluado en el año 2015 y a 0.5 % evaluado en el año 2018. El % de mitigación fue de 99%.
Monitoreo	Vigila y observa en forma permanente el comportamiento intrínseco y extrínseco de superficies líticas, liberadas del liquen, después del procesos de conservación mediante el uso de instrumental de campo	Conservación, mantenimiento y monitoreo de los sectores 1 A y 2 A	El monitoreo y mantenimiento realizado desde el año 2015 al año 2018 contribuye a evitar el 1% del repoblamiento de la Caloplaca sp. Y Restablece las condiciones equilibrio del contexto pétreo

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Ámbito de estudio

La etimología del nombre Tarawasi; es una palabra compuesta, “Tara” es un arbusto espinoso y “Wasi” casa.

El conjunto arqueológico de Tarawasi está ubicado en el distrito de Limatambo, provincia de Anta y departamento de Cusco, sobre la margen izquierda del río Limatambo a 2,675 m.s.n.m., entre las regiones Yunga, Quechua y Puna comprendida entre los valles interandinos, donde se identifica la cordillera oriental con su nevado más alto, el Salcantay, cuyas aguas riegan parte de este valle, en la quebrada formada por los cerros Morasayhua, Telca y Mamaco, se ubica en las coordenadas siguientes:

Latitud: 13° 13' 21" al Sur del ecuador.

Longitud: 72°33'51" al Este.

Altitud 2,675m.s.n.m.

Geodésicamente en el sistema de proyección Universal Transversa Mercator (U: T:M), se ubica en la zona 18, entre las coordenadas 778,000- 770,000 Abscisa Este y 8'509,000 - 8,510,000 Coordenada Norte.

Mapa de ubicación geográfica del Sitio Arqueológico de Tarawasi.

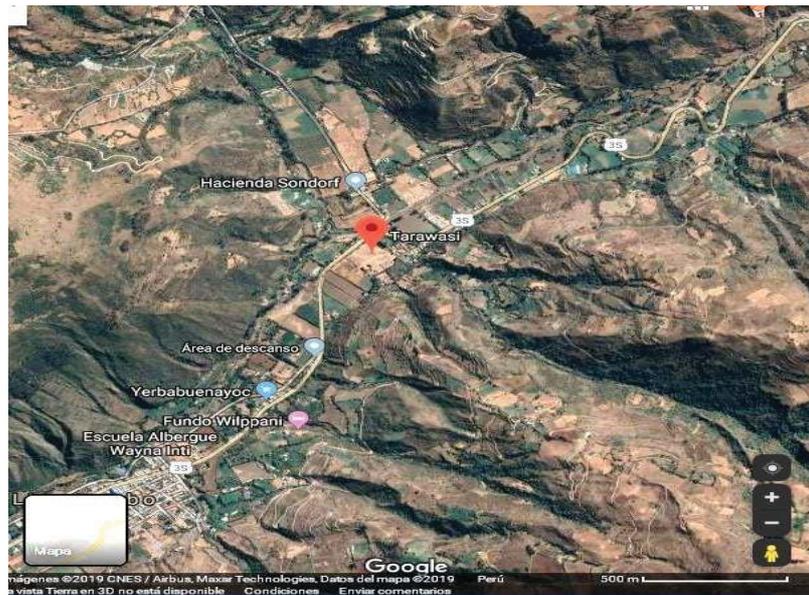


Figura 2:: Foto aérea de Limatambo créditos de Google, 2019.



Figura 3: Aerofotografía del sitio Arqueológico de Tarawasi. (2018)

4.1.1. Descripción arquitectónica

El Sitio Arqueológico de Tarawasi fue uno de cuatro tambos de control y centro ceremonial construido por el inca Pachacutec con el objeto de establecer un tambo de descanso en el camino hacia el Chinchaysuyo. El nombre de Tarawasi deriva de dos palabras quechuas. La primera refiere al nombre de “Tara” que es el nombre del arbusto y “Wasi” que significa Casa, probablemente usado como un centro ceremonial de convergencia de etnias chancas e incas. En el entorno se encuentran terrazas agrícolas superpuestas en el que actualmente se celebran eventos como el “Tarawasi Raymi” en el que se realizan escenificaciones de reminiscencia inca organizado por la municipalidad de Limatambo.

El Sitio Arqueológico de Tarawasi es una de las muestras de la arquitectura inca más logradas caracterizada por el diseño constructivo particular con texturas y formas de mampostería poligonales de aparejo fino almohadillado de gran tamaño conformando rosetones y elementos líticos de pequeñas dimensiones. Presenta terrazas con muros provistos de nichos de diferentes cotas tanto del lado Oeste y del lado Norte desde la margen del río Colorado a la margen izquierda del río Limatambo.

Los terrenos son de formación aluvial y coluvial de naturaleza textural franco arenosa con gran cono de deyección en la parte denominada Són dor y modificado por andenes agrícolas prefabricados.

La parte frontal está construida íntegramente por terrazas de estilo ciclópeo, piedras finamente trabajadas y admirablemente ensambladas.

El vano de acceso es de forma trapezoidal de 2 metros de alto y 3.20 metros de ancho en la parte del umbral, el probable dintel pudo haber tenido 3.10 metros de ancho.

El muro del primer andén de los sectores 1A y 2A tienen alturas que varían de 3.5 metros a 3.80 metros. Las piedras de las últimas hiladas están labradas por todas sus caras. Las escalinatas inicialmente estuvieron conformadas por cuatro escalones y luego completadas hasta 7 en el proceso de restauración llevada a cabo por el Instituto Nacional de Cultura en el año 2000.

En la segunda plataforma se hallan ocho hornacinas por cada lado y doce hornacinas en el frontis de 9.25 metros y 3.5 metros de altura, no existe el cuarto lado posterior por lo que probablemente tenía escalinatas de acceso al Usnu principal.

En la esquina del sector 2A se halla la vetusta casa hacienda de Tarawasi, en muy mal estado de conservación a punto de colapsar. Por el lado norte del monumento discurren aguas de la quebrada del río Cachimayo encausado y llena de vegetación nociva (L. Abarca y J. Gamarra, 1999).

4.2. Tipo y nivel de investigación

De acuerdo al propósito de la investigación y naturaleza de los problemas y objetivos formulados la tesis está calificada como investigación descriptiva, analítica, cuasi experimental.

4.3. Unidad de análisis

La unidad de aplicación del Método Bioquímico se lleva a cabo en los sectores: 1A y

2A del Sitio Arqueológico de Tarawasi. Periodo 1999-2018.

4.4. Área de estudio

El área de estudio sectorizada está conformada por:

Sector 1 A. (Sub sectores: 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 6s, 7s, y 8s) divididos por cuadrantes de 3 m x 4 m

Sector 2 A. (Sub sectores: s9, s10, s11, s12, 13, s14, s15, s16, s17, s18, s19, 20s, s21, s22, s23, y s24. Divididos por cuadrantes de 3 m x 4 m

4.5. Tamaño de la muestra

El área de estudio estuvo conformada por: 598 metros cuadrados, 2359 unidades líticas, 382.17 metros lineales y 3.80 metros de altura promedio.

4.6. Técnicas de selección de muestras

La técnica de selección de las muestras tomo el criterio de zonificación repartido en las zonas 1A y 2 A con el propósito de realizar estudios convergentes, aleatorio y representativo para los análisis respectivos, para el efecto se seleccionaron muestras de fragmentos líticos de la cantera original, con el cual fue construido el monumento.

De los sectores 1 A y 2 A se colectaron muestras de fragmentos líticos con patologías diversas, tales como, fragmentos salinizados, meteorizados, colonizados por liquen, entre otros, a fin de estudiar los niveles de patología lítica; física, química y Biocorrosión de los sectores elegidos para el estudio.

Las muestras líticas colectadas fueron codificadas de la siguiente manera:

La muestra M1 (muestra de cantera), M2 (fragmento lítico erosionado), M3 (Fragmento lítico con colonización de liquen antigua) y M4 (Recolonización reciente)

Las muestras fueron codificadas, mapeadas, registradas fotográficamente, depositadas en bolsas de polietileno y etiquetadas con los datos siguientes: localidad, país, provincia, coordenadas geográficas, sustrato, fecha, número de colección, nombres y apellidos del recolector.

4.7. Técnicas para la recolección de información: Fase diagnóstico

A. Las muestras de fragmentos líticos estuvieron conformados por: 02 fragmentos líticos de cantera, 02 líticos erosionados, 02 líticos salinizados y 04 líticos colonizadas por el liquen, de tamaños aproximados de 2 cm x 5cm, para realizar los diversos estudios, físicos, químicos, microscópicos e instrumentales a fin de identificar las diferencias, estructurales, físicas, químicas composicionales entre los fragmentos líticos de: cantera, meteorizados, salinizado y colonizados por el liquen, cuyos resultados fueron procesados utilizando diversos estadígrafos de comparación que permitieron interpretar los procesos de patología lítica y Biocorrosión.



Figura 4: Registro fotográfico de fragmentos líticos de: M1 cantera, M2 erosionados, M3 salinizados y M4 colonizados por el líquen) (Elaboración propia)

4.7.1. Técnicas de preparación de muestras para el análisis estratigráfico.

Para la preparación de secciones pulidas y realización de cortes transversales, se eligieron cuatro pequeños fragmentos líticos de: cantera, meteorizadas, salinizadas y colonizadas por el líquen en tamaños de 2 cm x 1cm.

Las muestras seleccionadas fueron colocadas en forma transversal a la superficie en 04 moldes de plastilina conteniendo resina acrílica preparadas en una proporción 1:1 en volumen de (Vitracryl: Vitalloy) y luego de polimerizado la resina, fueron pulidas con papel abrasivo de grano N° 120, hasta obtener una superficie especular y observada bajo amplificación microscópica con luz reflejada (Jiménez E., 2005).



Figura 5: Proceso de preparación de secciones estratigráfica del talo liquénico. (JLGG)

Leyenda. A: Fotografía macroscópica. B: Fotografía transversal;
C: Fotografía ortogonal. D: Microfotografía estratigráfica

4.7.2. Técnicas para la caracterización estratigráfica de muestras colonizadas

Objetivo:

Describir la estratigrafía de las muestras líticas de: cantera, erosionadas, meteorizadas y fragmentos líticos colonizados para realizar la caracterización estratigráfica por microscopia de luz reflejada y registro fotográfico a fin de identificar secuencialmente la distribución estructural del talo liquénico.

Procedimiento:

Para el análisis óptico se utilizó un estéreo microscopio por ejemplo Discovery V-8 Karl Zeiss con luz reflejada y microscopio de polarización Axio Imager z2M con objetivo de 10x y 20X, 40X en inmersión en glicerina, reflector DIC en un tiempo de exposición de 229,75 ms y una escala de 340,000 nm. X 340,000 nm. Peso de la figura 28.87 MB, formato de imagen 36 luz reflejada y polarizada con filtros de luz ultravioleta.

Para los registros de la micrografía estratigráfica se utilizó la cámara fotográfica con sistemas de alta resolución mayor a 16 Mega pixeles y procesador de imágenes de últimas versiones como el Software ACD See.12.

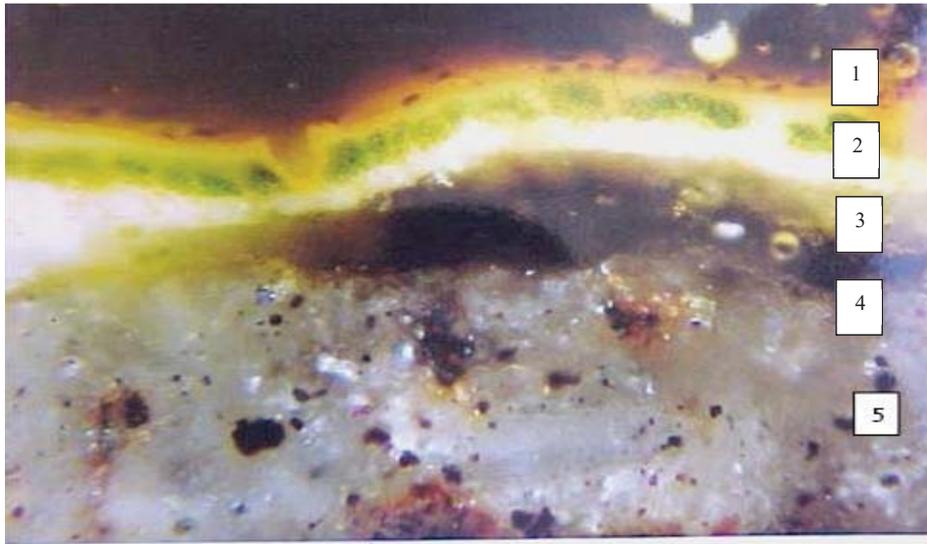


Figura 6: Micrografía estratigráfica de *Caloplaca* sp.(JLGG)

Leyenda 1: Estrato cortical color naranja; 2: Estrato de algas; 3: Capa gonidial; 4: Capa interface de Quelación Interiónica; 5: Sustrato lítico.

4.7.3. Técnica para la caracterización microscópica por barrido electrónico

Fue necesario utilizar los servicios de análisis de Microscopia de Barrido electrónico de otra parte del país, por cuanto que en nuestra región se carece de este equipo de alta tecnología.

Objetivo:

El análisis químico por barrido electrónico (MEB) tuvo como finalidad, efectuar el rastreo de la superficie lítica meteorizada y colonizada con líquen, para identificar el comportamiento del talo líquénico en la interface piedra-liquen y cuantificar la

composición química de los sustratos líticos de; cantera, meteorizadas, salinizadas y colonizadas por el líquen extraídas del muestreo en tamaños de 2cm x 2cm.

Procedimiento:

Se seleccionan 4 muestras líticas: de cantera (M1), erosionada (M2), salinizadas (M3) y con infestación líquénica (M4), luego fueron cortadas en dirección transversal y longitudinal, embalados en recipientes herméticos, con su respectiva codificación y enviados a un laboratorio de la ciudad de Lima, para el análisis con el equipo de microscopia de Barrido Electrónico

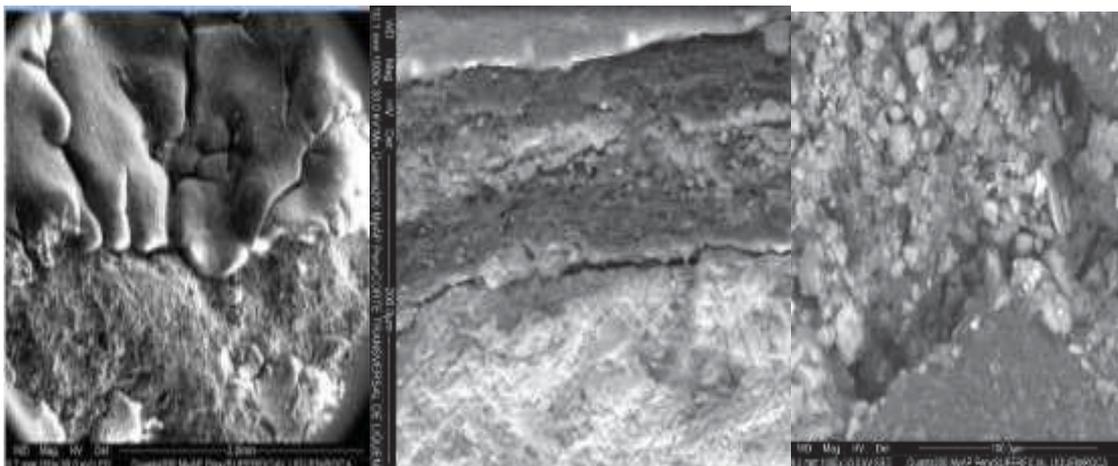


Figura 7: Microfotografía de la ultra estructura del líquen efectuado con microscopio electrónico de barrido (Myp /MEB, 2018)

4.7.3. Técnica para el análisis químico multielemental por fluorescencia de rayos X (FRX)

Fue necesario solicitar los servicios de análisis de laboratorios especializados en este tipo de análisis.

Objetivo:

Determinar la composición química multielemental de las muestras líticas de: cantera (M1), erosionada (M2), salinizadas (M3) y colonización líquénica (M4), embalados en recipientes herméticos, con su respectiva codificación y enviados al laboratorio para el análisis respectivo y cuantificar los componentes químicos, mayores, menores y trazas determinados en porcentajes o en partes por millón.

Los resultados numéricos obtenidos fueron procesados mediante el análisis estadístico multivariable que permitieron realizar inferencias de los efectos de meteorización, salinización y colonización líquénica.

4.7.4. Técnica de análisis caracterización petrográfica de los elementos líticos

Objetivo:

La caracterización petrográfica tuvo por finalidad determinar el estado de las unidades mineralógicas, meteorización de las microestructuras cristalinas de los fragmentos líticos; de cantera, erosionada por la salinización y colonizada por el líquen, para tal efecto, fue necesario realizar cortes de secciones delgadas con el uso de Petrótomos modernos.

Preparación:

Se procedió a realizar cortes laminares de fragmentos líticos con un Petrótomos, luego las láminas fueron pulidas sobre superficies abrasivas de grano N°1000 y grano N°2000 hasta obtener una lámina delgada con espesor de 0.3 mm, adheridas sobre láminas de vidrio porta objetivo y estudiadas con el microscopio de petrográfico con

amplificaciones de 10x y 20X, 40X, con luz transmitida, reflejada y polarizada, filtros de luz ultravioleta y reflector (campo claro DIC, campo oscuro y nicoles cruzados)

4.7.5. Técnica para el análisis y caracterización edafológica, sustratos térreos, líticos y salinos

Objetivo:

Determinar la textura del suelo por el método del hidrómetro de Bouyoucos Frómeta (1996). Norma ASTM-152H.

Las muestras térreas, fueron colectadas de acuerdo a la distribución edafológica y estratigráfica del contexto. Capa húmica, arcilla, limo y grava:

La muestra M1 fue colectada a 40 cm de la capa húmica (I), la muestra M2 colectada hasta la capa de arcilla y la muestra M3 colectada en la capa de limo.

Materiales utilizados para el análisis:

01 Cernidor, 01 mortero de porcelana, balanza, 01 espátula, 01 pizeta 01 probeta de vidrio de 1000 ml, 01 termómetro, 01 litro de agua desionizada y 5 gramos de oxalato de sodio y 100 gramos de suelo.

Preparación: Se pesaron 100 gramos de suelo, secado en estufa a 110°C, molidos y tamizados en malla 150 ASTM, al cual se agregaron 5 gramos de oxalato de sodio y depositado en una probeta conteniendo agua desionizada hasta aforar a 100 ml y luego

agitado hasta lograr la homogenización completa sobre la cual se introdujo el hidrómetro de Bouyoucos.

La primera lectura con el hidrómetro de Bouyoucos, determinó el porcentaje de arena y se tomó la temperatura luego de 40 segundos.

Luego de procedió efectuar la segunda lectura que correspondió al porcentaje de arcilla. Ambas lecturas fueron corregidas por el factor de corrección de la temperatura y por diferencia de 100 se determinó el porcentaje de limo. Esta operación se realizó para cada una de las probetas de suelo y agua en suspensión, preparadas anteriormente. Estos valores porcentuales de (% de arena, % de limo y % de arcilla) se extrapolaron en el triángulo de textural para identificar la naturaleza textura final del suelo.

4.7.6. Técnica para la determinación de la salinidad del suelo.

Objetivo:

La Conductividad eléctrica del extracto saturado permitió determinar los valores de la concentración salina presentes en el suelo.

Preparación:

Se pesaron 250 gramos de la muestra de tierra previamente secada a 110 °C por el tiempo de una hora, luego fue molido y cernido hasta pasar la malla 100 ASTM, sobre el cual se añadió un volumen medido de agua destilada hasta obtener mediante homogenización una pasta brillante y reposada durante 24 horas. El material humectado hasta saturación fue depositado sobre papel filtro y colocado sobre la superficie del

embudo Butchner instalado sobre el frasco Erlenmeyer que tiene un apéndice conectado a una bomba de vacío para extraer el líquido filtrado.

El Volumen del líquido filtrado se usó para determinar: La conductividad eléctrica (CE: mili Siemens/ cm), el pH, la concentración salina C_s (mg/l), el total de sólidos disueltos TDS (mg/l), la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), con el equipo multi parámetro Mettler Toledo y equipo Oakaton, cuyos resultados permitieron medir los niveles de salinidad y dinámica del flujo salino depositado sobre la superficie exterior de los elementos líticos.

4.7.7. Técnica para la determinación del pH del talo liquénico

Objetivo:

Determinar el pH del líquen en la interface piedra- líquen.

Preparación:

Se extrajo de la superficie lítica colonizada la cantidad de un gramo del córtex liquénico, la muestra extraída fue sumergida en una mezcla líquida en 03 volúmenes de alcohol de 90% y 01 volumen de acetona (químicamente pura, Q.P.) durante 24 horas en tubos de ensayo herméticamente cerrados y sometidos a agitación, a fin de extraer en este tiempo, los componentes ácidos del talo y el líquido sobrenadante fue filtrado al vacío.

El volumen líquido extraído fue usado para determinar el pH del líquen con el equipo multiparámetro disponible para este efecto.

4.7.8. Técnica para la determinación del pH de las muestras líticas de cantera, erosionadas y salinizadas.

Objetivo:

Determinar el pH de las muestras líticas de cantera, erosionadas, salinizadas y colonizadas

Preparación:

Se procedió a pesar 20 gramos de cada una de las tres muestras líticas secadas a 100°C luego molidas en morteros de porcelana y tamizadas en malla de 0.1 mm.

A estas tres muestras se agregaron 50 ml de agua destilada en tres vasos de precipitados de 100 ml de capacidad por separado, luego fueron sometidos a ebullición durante 5 minutos, el líquido sobrenadante fue vertido sobre papel filtro colocado sobre la superficie del embudo Butchner instalado sobre el frasco Erlenmeyer con un apéndice conectado a una bomba de vacío para extraer el líquido que sirvió para las determinaciones.

Las muestras líquidas filtradas contenidas en los tres vasos de precipitados fueron usados para determinar: La conductividad eléctrica (CE: mili Siemens/ cm), el pH, la concentración salina Cs (mg/l), el total de sólidos disueltos TDS (mg/l), la temperatura (°C), con el equipo multi parámetro Mettler Toledo y equipo Oakaton.

4.7.9. Caracterización de las variables ambientales externas

Objetivo:

Utilizó los datos actualizados de las variables climatológicas ambientales del servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Procedimiento:

Para el análisis de las variables climatológicas se usó los datos actualizados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, además se utilizaron los ábacos psicométricos que permitieron determinar; la temperatura de bulbo húmedo (°C), temperatura de rocío (°C) cuyos resultados fueron comparados con los valores porcentuales de humedad superficial obtenidos del higrómetro electrónico y los datos obtenidos en la temperatura superficial (°C) de la piedra con el termómetro con rayos infrarrojo.

4.7.10. Caracterización de las variables climáticas en la superficie de la piedra.

Objetivo:

Determinar la humedad y temperatura superficial de los elementos líticos.

Procedimiento:

Para determinación del porcentaje de humedad de la superficie de los elementos líticos se hizo uso de un equipo de higrometría electrónica digital que posibilitó, la determinación del porcentaje de humedad y utilización complementaria del ábaco psicométrico a fin de calcular la temperatura de bulbo húmedo (°C), temperatura de

rocío (°C), datos que fueron registrados de acuerdo a los sectores elegidos en el cuaderno de campo.

4.7.11. Aspectos bio seguridad

1. Se realizó el registro fotográfico minucioso de los sectores elegidos para la toma de muestras con la señalización, orientación y escala correspondiente.

2. Fue necesario establecer ciclos de capacitación en el uso de equipos de medición en campo, además de informar los propósitos y procedimientos de aplicación del método bioquímico a fin de evitar prácticas inadecuadas, antes, durante y después de la aplicación del método.

3. Al personal obrero y monitores se dotó la indumentaria que exige la bioseguridad personal, así como la provisión de materiales y herramientas pertinentes requeridos para la ejecución de las acciones.

4. Se efectuó zonificadamente la eliminación de malezas y plantas mayores de los intersticios de las piedras y limpieza en seco, mediante aspiradoras provistas de mallas de protección, a fin de no producir efectos mecánicos sobre las piedras meteorizadas.

5. La aplicación de las soluciones de hidróxido de calcio no ocasionó peligro para el operador.

4.7.12. Técnica para la preparación de la lechada de cal (Fase de aplicación.)

Objetivo:

Establecer criterios teóricos y prácticos para el desarrollo y preparación de la lechada de cal según la Norma (ASTMC110)

Procedimiento:

La aplicación de la mezcla de cal apagada estipulada en la Norma (ASTMC110) mostró las condiciones de ionización del ion calcio y el ion hidroxilo para ocupar un volumen mayor a 1.3 micras y requirieron de 15 minutos para iniciar el proceso de difusión y reactividad efectiva de los iones hidroxilos con pH 12.

En estas condiciones naturales la solubilidad del hidróxido de calcio fue baja y por consiguiente fue necesario realizar la homogenización enérgica a fin de formar el hidrato de 1.3 micras requerido por la norma ASTM110, para ello, se agregaron 100 gramos de óxido de calcio en 400 ml de agua para obtener una concentración final de la solución de cal de 0.250Kg/l

La concentración de óxido (CaO) en el mercado local es de 40% y fue necesario incrementar un 60% en peso para obtener la densidad teórica, sugerido por la norma ASTM110

La concentración corregida para la preparación de la lechada de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$, estuvo conformada por 400 gramos de óxido de calcio (CaO) en 1000 ml de agua desionizada para obtener un pH alcalino de 12.

El tiempo permanencia necesario del hidróxido de calcio sobre los elementos líticos fue de 5.5 horas, tiempo en que se hizo efectivo el proceso de difusión deshidratación e hidrolización de los estratos inferiores del talo liquénico.

Estas reacciones se hicieron evidentes por el cambio de coloración del córtex anaranjado a color rojo carmesí del talo liquénico.

Para la limpieza de residuos degradados del talo liquénico fueron utilizados, cepillos dentales y escobillas de cerda suave.

El enjuague fue realizado con chorros de agua desionizada, aplicado lítico por lítico, hasta lograr su total eliminación. Estos enjuagues sucesivos fueron repetidos hasta eliminar completamente los residuos del talo liquénico.

La preparación de la pulpa de celulosa fue una operación que consistió en desmenuzar pedazos de papel higiénico blanco sin aditivos, en una proporción de 1,5 kg de papel en 20 litros de agua desionizada y luego fue sometida a agitación manual con el fin de homogenizarla y formar una pasta de pulpa densa de celulosa.

A esta mezcla homogenizada se le agregó un volumen 360 cc de alcohol etílico de 90% por cada 20 litros de pulpa de celulosa a fin de disminuir la tensión superficial del agua y facilitar su humectación.

El rendimiento de esta dosificación fue para cubrir 2 metros cuadrados de superficie liberadas del liquen.

La pulpa preparada tuvo una textura pastosa y homogénea sin grumos, de modo que la depositación sobre la superficie de la piedra tuviera un espesor uniforme de hasta de 1 cm. La pulpa de papel fue aplicada en forma manual por cuadrantes de 1 M² por vez, hasta cubrir las áreas preparadas para este fin.

La operación de desalinización tuvo por objetivo, extraer las sales solubles de la superficie de los elementos líticos en base al aparente fenómeno de succión que se producen durante el secado de la pulpa de celulosa. Proceso que finalizó cuando la pulpa de papel blanco se tornó después del secado en una coloración amarillenta.

El tiempo de residencia de la pulpa de papel sobre la superficie lítica liberada del liquen, permaneció por una semana a fin que el proceso de extracción de las sales solubles presentes en la porosidad de los elementos líticos fuera la más eficaz. Finalizado el proceso de conservación se procedió a retirar las papetas secas de forma manual.

Los fragmentos secos de pulpa de papel, extraídos del proceso de desalinizado fueron enviados al laboratorio para su análisis a fin de determinar la concentración salina extraída y medir la eficiencia del proceso de desalinización.

Para el análisis de la concentración de sales extraídas del desalinizados los fragmentos de papel fueron pesados y embebidos en un volumen de agua destilada y filtrada al vacío. El volumen líquido extraído fue medido mediante el equipo de conductimetría para determinar la concentración de total de sólidos disueltos, porcentaje de sales extraídas y el pH final.

El biosida Tego distribuido por la Empresa GOLDS-CHMIDT cuyo componente activo es el metil etoxi polixiloxano fue aplicado una solución al 3% en medio acuoso por atomización cuadrante por cuadrante, con el propósito de inhibir y neutralizar los probables residuos del talo liquénico aun presentes en la porosidad de los elementos lítico y evitar la futura re infestación.

4.8. Técnicas de para el análisis e interpretación de la información

Objetivo:

Procesar los resultados de los análisis cualitativos y cuantitativos obtenidos en las fases de diagnóstico y tratamiento.

Procedimiento:

Los resultados de los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos en las fases Diagnostico tratamiento y monitoreo fueron procesados e interpretados haciendo uso de las hojas de cálculo Microsoft Excel para el estudio estadístico numérico de los valores obtenidos de las mediciones, siguieron la correlación e incidencias de los efectos de las variables ambientales externas e internas, composición textural, valores de salinidad del suelo, composición química en muestras líticas de: cantera, meteorizadas salinizadas, dinámica interna de los flujos salinos, con los resultados de la caracterización química y microscopia de barrido electrónico, con los resultados de los análisis químicos multielemental obtenidos por fluorescencia de rayos X.

Ambos resultados contribuyeron a determinar las implicancias físicas y químicas del metabolismo del liquen en la ultra estructura piedra-liquen producida en los líticos

meteorizados, salinizados y colonizados por el líquen, fueron procesados e interpretados de manera integral y conectiva a fin de probar la eficiencia alcanzada en la aplicación del método bioquímico y establecer lineamientos de control y supervisión permanente permitieron programar y planificar acciones de mantenimiento y conservación preventiva.

4.8.1 Técnicas de registro gráfico y fotográfico.

Para los primeros registros gráficos y fotográficos se utilizó la técnica de la fotogrametría aérea convergente, realizados con el Drone Phantom 2, equipado con la cámara, visión plus de DJI, monitoreados por conectividad wi-fi con el celular Samsung Galaxy S4, para la digitalización de planos de distribución, cortes y elevaciones de las áreas estudiadas.



Figura 8: Planimetría realizado con Drone Phantom2 en el sitio arqueológico de Tarawasi, Fuente: Google Earth. 2018

4.9. Secuencia aplicativa del método bioquímico.

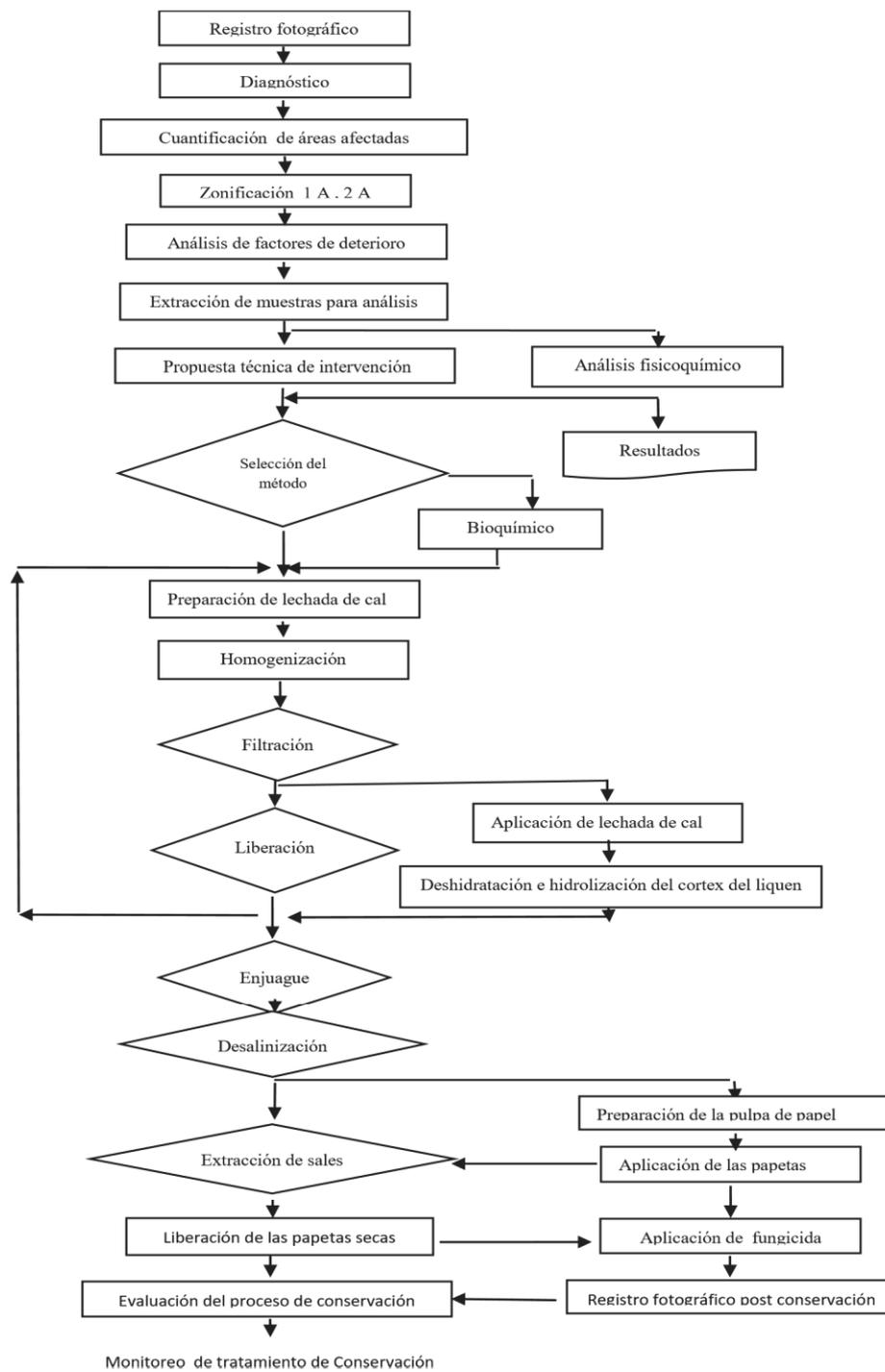


Figura 9: Flujo grama de aplicación del método bioquímico (1999-2018)

CAPITULO V

RESULTADOS

La formulación del método bioquímico aplicado en las fases de: diagnóstico aplicación, evaluación y monitoreo muestran en los cuadros y figuras los resultados de mediciones cualitativas y cuantitativas de los parámetros ambientales, temperaturas internas y externas, humedad relativa, determinación y zonificación en sectores 1 A y 2A divididos por sub sectores, cuantificación de unidades líticas con patología lítica y Biocorrosión, mediante técnicas de recolección de muestras, caracterización microestratigráfica en la interface piedra líquen e identificación del pH del talo líquénico, caracterización química composicional por fluorescencia de rayos X y barrido electrónico, caracterización química y petrográfica de líticos, edafología, química de suelos, líticos erosionados y colonizados, concentración de química del flujo salino entre otras.

5.1. Climatología del Sitio Arqueológico de Tarawasi

Los registros climáticos del sitio arqueológico de Tarawasi obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI indicaron que corresponde a una zona de clima templado a cálido, con temperatura promedio anual de 15.48 °C, temperatura mínima promedio de 7.59 °C, temperatura máxima de 25.5 °C en el mes de octubre y una temperatura mínima de 5.6°C en los meses de junio y julio.

La humedad relativa anual es de 60%. La recurrencia de las precipitaciones pluviales se registra durante los meses de octubre hasta mediados de abril y luego se producen

períodos de sequedad el resto del año. Los vientos son relativamente fuertes, como indica el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI-2018).

Tabla 3: Variabilidad térmica del sitio arqueológico de Tarawasi (SENAMHI 2018).

Temperatura(°C)	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Set	Oct	Nov	Dic
T. media	16	15	16	16	15	14	14	15	16	17	17	16
T. mínima	8,4	8,3	8,4	7,9	6,8	5,7	5,6	5,9	7,6	8,9	8,9	8,7
T. máxima	23	23	23	24	23	23	23	24	23	26	25	23

La tabla 3: muestra que la temperatura promedio anual de 15.48 °C, temperatura mínima promedio de 7.59 °C, temperatura máxima de 26°C en el mes de octubre y una temperatura mínima de 5.6°C en los meses de junio y julio. El frío más intenso se produce en los meses de mayo, junio, julio y agosto. La variación de las temperaturas durante todo el año fue de 3.1°C

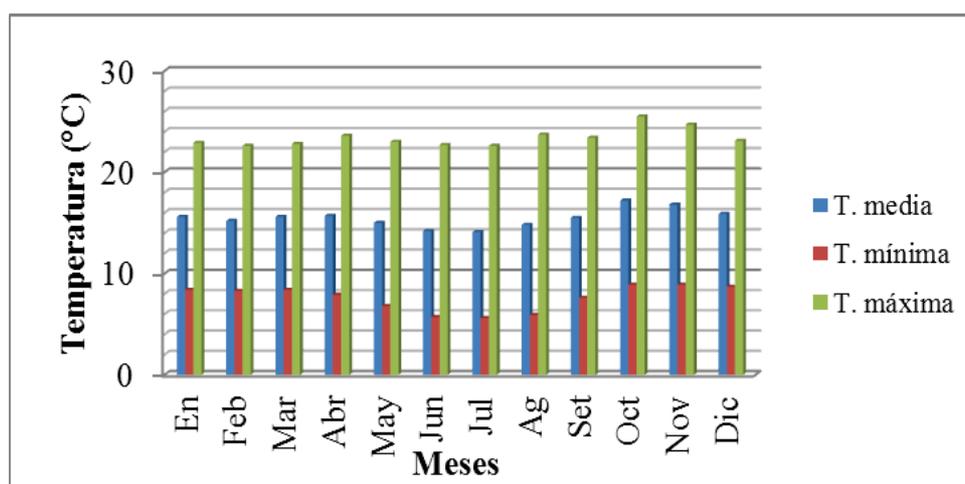


Figura 10: Variabilidad climática promedio anual de Sitio Arqueológico de Tarawasi.(2018)

B. Para el año 2018:

Tabla 4: Variabilidad pluviométrico promedio anual en Sitio Arqueológico de Tarawasi.

Meses	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Set	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	167	171	153	60	15	7	10	11	27	57	83	137

Fuente: SENAMHI (2018)

La Tabla 4 muestra que las mayores precipitaciones pluviales promedio se registraron 171 mm, en los meses de noviembre a marzo.

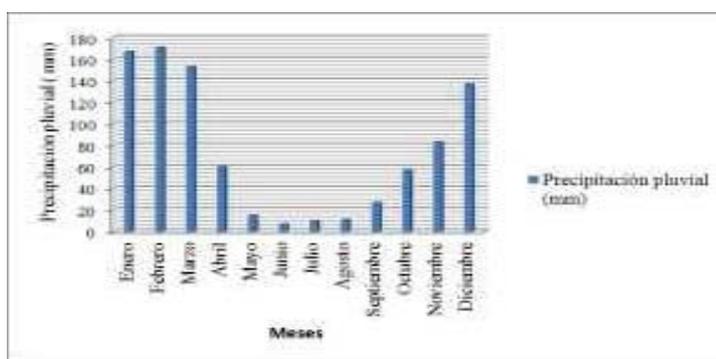


Figura 11: Variabilidad de las precipitaciones pluviales de enero a diciembre en el Sitio Arqueológico de Tarawasi. (2018)

C. Evaluación de la temperatura ambiental y superficial (°C) sectores 1 A y 2 A.

Tabla 5: Parámetros térmicos ambiental y superficial en los sectores 1 A y 2 A. (2018)

T°C	SECTOR 1A						SECTOR 2 A					
	Ambiental			Superficial			Ambiental			Superficial		
Ss	s4	s6	s8	s4	s6	s8	s12	s19	s24	s12	s19	s24
Tw	18	19	17	21	22	22	15	16	14	17	18	17
Tr	15	16	14	18	20	20	9,1	10	7,3	9	13	12

Legenda: Ss : Subsectores. Tw temperatura de Bulbo húmedo. Tr temperatura de rocío

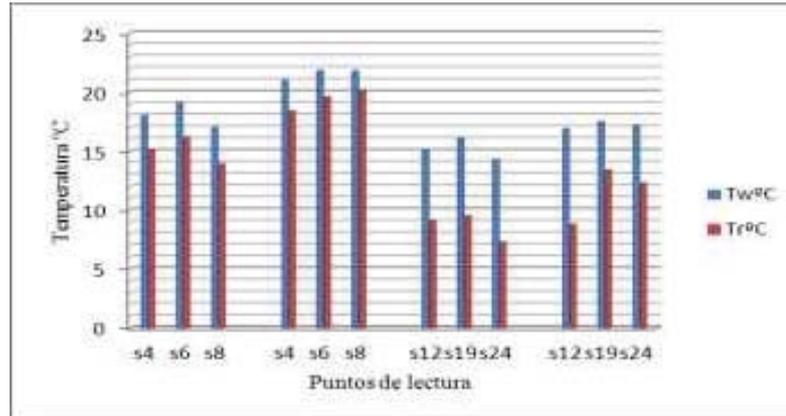


Figura 12: Variabilidad térmica ambiental y superficial en los sectores 1 A y 2 A. (2018)

La tabla 5 muestra que la temperatura bulbo húmedo (Tw).

En el sector 1 A, la temperatura húmeda promedio ambiental es de 18°C y en la superficie lítica la temperatura húmeda promedio en la superficie lítica es de 22°C.

En el sector 2 A, la temperatura húmeda promedio ambiental es de 15°C y en la superficie lítica la temperatura húmeda promedio en la superficie lítica es de 18°C. Lo que muestra que la temperatura de bulbo húmedo es mayor en el sector 1 A que en el sector 2 A, lo que significaría que en el sector 1 A la velocidad de evaporación del agua salinizada sería mayor que en el sector 2 A.

5.2. Descripción de la aplicación del método bioquímico

La aplicación del hidróxido de calcio (CaOH)₂, sobre la superficie lítica colonizada por el líquen *Caloplaca* sp., tuvo el propósito el cambio del pH ácido del líquen a un pH

alcalino, a fin de generar reacciones químicas de oxidación, hidrólisis que facilitan su erradicación, mitigación y el restablecimiento de las condiciones de equilibrio del sistema pétreo del sitio arqueológico de Tarawasi.

En esta etapa se aplicó la lechada de cal por cuadrantes de 3 m x 4 m por vez, desde el sector 1 A (Sub sectores 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 6s, 7s y 8s) hasta los siguientes subsectores del sector 2 A (Sub sectores s9, s10, s11, s12, 13, s14, s15, s16, s17, s18, s19, 20s, s21 s22, s23, y s24).

5.2.1. Cálculo del tiempo de permanencia del empaste de la lechada de cal.

El tiempo de residencia de la lechada de cal sobre la superficie lítica colonizada por el líquen se calculó mediante la siguiente relación matemática:

$$T_{\text{reposito}} = E_C \times \frac{1}{4} \text{ Hora} / D_H \times 100;$$

E_C : Espesor del córtex líquénico en micras.

T (1/4) Tiempo 15 minutos (Norma ASTM C110)

D_H : Diámetro del hidrato en micras

Considerando el espesor del córtex de 28.88 micras de la *Caloplaca* sp., y el diámetro del hidrato de calcio (D_H) de 1.3 micras, la estimación de tiempo de residencia (T_r) de la lechada de cal sobre la superficie lítica colonizada por el líquen se calculó mediante la siguiente relación matemática: Fig 13.

$$T_{\text{reposito}} = E_C \times \frac{1}{4} \text{ Hora} / D_H \times 100;$$

$$T_r = 28.89 \times 0.25 / 1.3 = 5.55 \text{ horas}$$



Figura 13: Proceso de empaste con solución de cal, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1999

El cambio de coloración de la lechada de cal a un color rojo carmesí, indicó el inicio de las reacciones de deshidratación, hidrolización y oxidación, de los componentes del talo liquénico de la *Caloplaca* sp. (Figura 14).



Figura 14: Reacción química de deshidratación e hidrolización del córtex liquénico. 1999

5.2.2. Eliminación del liquen

Para la limpieza de los residuos degradados del talo liquénico se utilizaron cepillos dentales y escobillas de cerda suave, chorros de agua desionizada, aplicado lítico por

lítico, hasta lograr su total eliminación, complementado con enjuagues sucesivos de agua desionizada sección por sección. (Figura 15).



Figura 15: Limpieza mecánica. 1999

La aplicación del método bioquímico a escala se realizó con la participación de los alumnos de la Escuela Taller Cusco. Convenio de Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) con el Instituto Nacional de Cultura Cusco, quienes fueron previamente capacitados por el suscrito en la Escuela Taller Cusco dirigida por el Arquitecto Gustavo Manrique Villalobos en el año 1999. (Figura: 16).



Figura 16: Liberación y limpieza de líquenes. 1999

5.2.3. Desalinización

La desalinización se aplicó sobre la superficie lítica liberada del liquen por cuadrantes de 2m x 3 m desde el sector 1 A (sub sector s1 hasta el sub sector s8) con el fin extraer las sales solubles de la superficie. Esta pulpa de celulosa permaneció adherido a los elementos líticos por el tiempo de una semana y retirada cuando la pulpa de papel cambió de blanco a un color amarillento que indica la extracción de sales de la superficie lítica liberada del liquen. (Fig.17).



Figura 17: Aplicación de papetas para la desalinización, 1999

5.2.4. Determinación de concentración salina extraída en proceso de desalinizado.

Para el proceso de evaluación de la efectividad del proceso de desalinización de tomo como referente comparativo inicial la conductividad inicial del agua desionizada con valor de 12.88 micro Siemens/cm.

El resultado de la determinación de las concentraciones salinas fue efectuado en muestras de fragmentos de las papetas secas extraídas de los sectores 1 A y 2 A.

La conductividad de la muestra lítica salinizada M2 del sector 1 A fue de 209 micro Siemens /cm.

La conductividad eléctrica de la muestra lítica salinizada M4 del sector 2 A fue 212 micro Siemens /cm.

La conductividad medida en los fragmentos de papetas extraídas después del proceso de desalinizado en:

Sector 1 A fue de 190 micro Siemens/cm

Sector 2 A fue de 195 micro Siemens/ cm

De estos resultados se observaron que:

La eficiencia de extracción salina de la superficie lítica por sectores es:

En el sector 1A: $190/209 * 100 = 91\%$

En el sector 2A: $195 /212* 100 = 92\%$

Los resultados del proceso de salinización efectuados en el sector 1A con alto porcentaje de colonización liquénica mostraron valores similares con el proceso de desalinización efectuada en el sector 2 A con poca infestación liquénica, nos indicó que el proceso de desalinizado se llevó a cabo con eficiencia mayor a 90 % en ambos sectores.

5.2.5. Aplicación de biosida:

Como parte complementaria con el propósito de inhibir y neutralizar los probables residuos del talo liquénico aun presentes en la porosidad de los elementos lítico y evitar la futura re infestación. Se aplicó por atomización cuadrante por cuadrante una solución al 3% en medio acuoso de la biosida Tego HB distribuido por la Empresa GOLDS-CHMIDT cuyo componente activo es el metil etoxi polixiloxano, (Fig: 18)



Figura 18: Proceso de aplicación del biosida TEGO HB. 1999

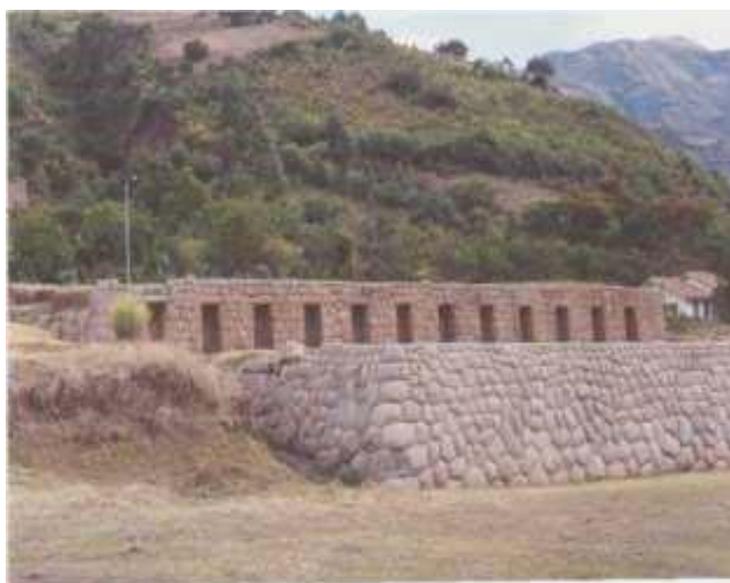


Figura 19: Monitoreo después de la primera aplicación de método Bioquímico del Sitio Arqueológico de Tarawasi-1999.

5.2.6. Recolonización. Año 2015

Sector 1A (2015)

Luego de 19 años de la primera aplicación del método bioquímico se evidencia que el sector 1 A colonizado en 92% del líquen *Caloplaca* sp., en el año 1999., se redujo a un 14% de repoblamiento evaluado en el año 2015 y 1% en 2018, siguiendo la metodología de análisis en la fase inicial (Figura 20).



Figura 20: Diagnostico de la recolonización de lito líquenes Sector 1, 2015).

Tabla 6: Comportamiento de la recolonización del líquen versus el número de líticos en el sector 1 A, 2015

SECTOR 1 A	Nº Líticos	Recolonización
S1	172	14
S2	79	4
S3	92	10
S4	90	24
S5	95	40
S6	94	5
S7	108	9
S8	67	2
TOTAL	797	108

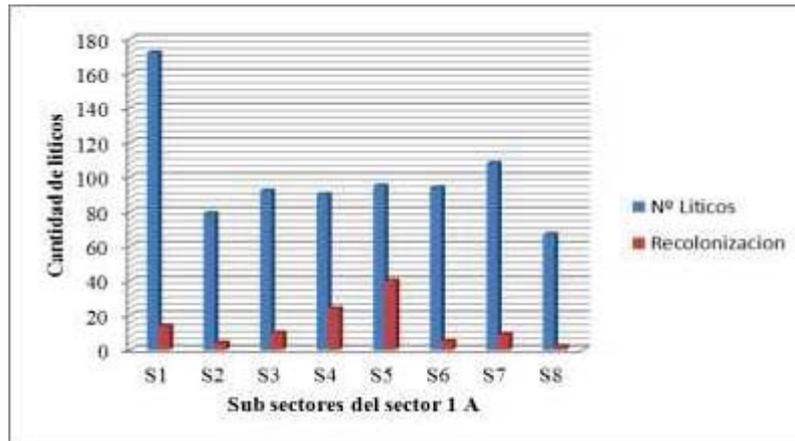


Figura 21: Variabilidad del comportamiento de la recolonización del líquen versus el número de líticos en el sector 1 A, año 2015

Los sub sectores con recolonización más significativa fueron los sub sectores s5, s4 y s1. La tabla 6 indica que solo el 14% del total de líticos fueron recolonizados en sector 1A

Sector 2A (2015)

Luego de 19 años de la primera aplicación del método bioquímico en el sector 2A colonizado en el año 1999 inicialmente de 41% se redujo a 1% de repoblamiento evaluado en el año 2015, siguiendo la metodología de análisis en la fase inicial (Fig.

22).



Figura 22: Diagnostico de recolonización de lito líquenes sector 2A. 2015).

Tabla 7:: Variabilidad del comportamiento de la recolonización del liquen versus el número de líticos en el sector 2 A, año 2015

Sector 2A	Nº líticos	Re colonización 2015
s9	85	4
s10	94	5
s11	102	6
s12	107	4
s13	83	8
s14	157	8
s15	80	7
s16	85	7
s17	74	10
s18	74	8
s19	88	12
s20	142	23
s21	87	16
s22	87	6
s23	87	4
s24	102	3
Total	1534	131

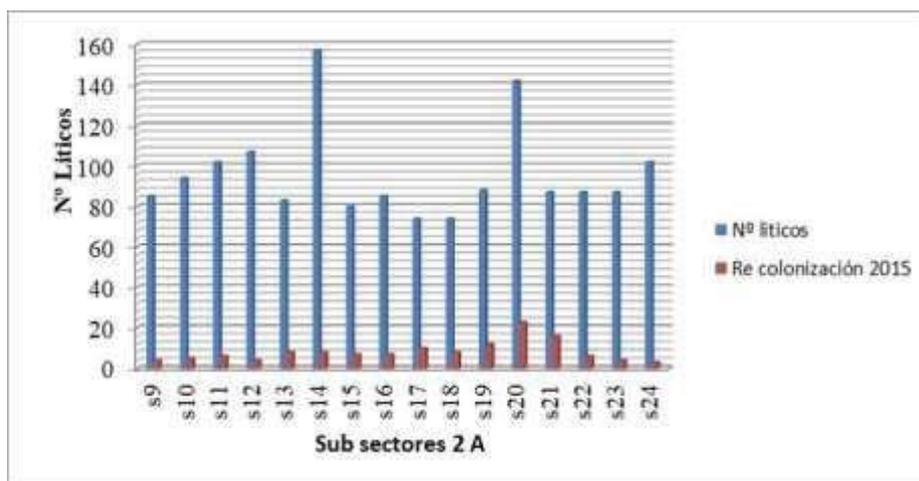


Figura 23: Variabilidad del comportamiento de la recolonización del liquen versus el número de líticos en el sector 2 A, año 2015.

La tabla 7, indica que solo el 8.5% del total de líticos fueron recolonizados en sector 2A Los sub sectores con recolonización más significativa fueron los sub sectores s17, s19, s20, s21.

El análisis estratigráfico de la muestra de fragmentos líticos recolonizados en el año 2015, muestra que el crecimiento del talo liquénico estuvo en su fase inicial de recolonización lo que permitió desarrollar acciones de mantenimiento y erradicación mediante la aplicación puntual y sectorizada del método bioquímico

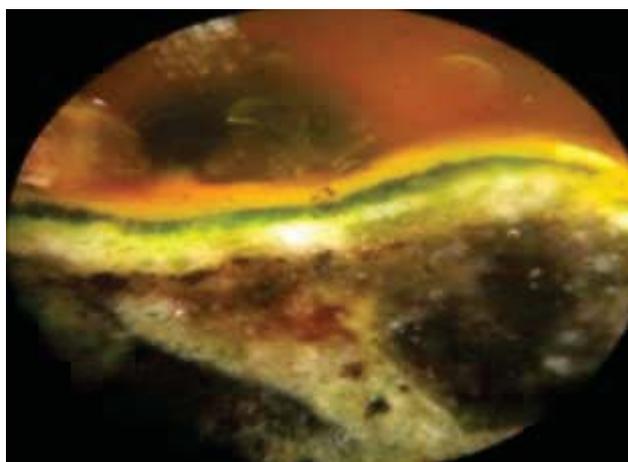


Figura 24: Estratigráfica del liquen Caloplaca sp 2015



Figura 25: Secuencia de la segunda aplicación del método Bioquímica para erradicación de repoblamiento del liquen. 2015.

5.2.7. Mantenimiento y erradicación del líquen *Caloplaca* sp., en Sitio arqueológico de Tarawasi, 2015.

Las acciones de mantenimiento emprendidas en el abril del 2015, diseñados y programadas por equipo multidisciplinario estuvo conformado: Eliana Rojas Velásquez Bióloga especialista en Liquenología. Ingeniero Químico Lic. Jorge Luis Gamarra Gamio. Arqueólogo Eduardo Pacheco, residente del Sitio Arqueológico de Tarawasi perteneciente al Área Funcional de Monumentos y Sitios Arqueológicos de la Dirección Desconcentrada de Cultura Cusco, personal técnico y obreros capacitados se realizó los trabajos de mantenimiento integral del conjunto en colaboración con la Municipalidad distrital de Limatambo.

5.3. Resultados en la fase Diagnóstico

5.3.1. Mediciones de parámetros ambientales térmicos y psicométricos externos y superficiales de los elementos líticos.

Tabla 8: Identificación de parámetros ambientales externos e internos en los sectores 1A y 2A del sitio arqueológico de Tarawasi. (1999)

Factor	Puntos de mediciones	Hr. (%)	Ta (°C)	Ws. g/ Kg.	W g/Kg.	Pv mm Bar	D Kg./M3	Ve M3	Tw (°C)	Tr (°C)
Ambiental	1	63	22	0,2	10,1	17,2	1,19	0,84	18	15,1
	2	62	24	0,2	11,6	18,5	1,19	0,84	19,1	16,2
	3	62	21,5	0,2	9,9	15	1,2	0,83	17	13,9
	4	63	26	0,2	13,2	21,2	1,18	0,85	21	18,4
	5	68	26	0,2	14,3	22,3	1,18	0,85	21,8	19,6
	6	75	25	0,2	14,8	23,7	1,18	0,84	21,8	20,2
Superficie Lítica	1	44	22	0,2	7,3	11,6	1,2	0,84	15,1	9,1
	2	40	24	0,2	7,5	11,9	1,19	0,84	16,1	9,5
	3	40	21,5	0,2	6,4	10,3	1,2	0,83	14,3	7,3

4	34	26	0,2	7,1	11,4	1,18	0,85	16,9	8,8
5	46	26	0,2	9,7	15,5	1,18	0,85	17,5	13,4
6	48	15	0,2	8,9	14,3	1,15	0,84	17,2	12,3

Leyenda: Hr (Humedad relativa), Ta (Temperatura ambiental),Ws (Peso de aire seco),Ww (peso de aire húmedo), Pv (Presión de vapor), D (densidad del aire), Ve (Volumen específico),TW Temperatura de bulbo húmedo), Tr (Temperatura de Rocío)

La tabla 8, Las mediciones térmicas e higrométricas nos indicó los valores de la variabilidad térmica externa ambiental y superficial de las superficies líticas en los sectores 1 A y 2 A.

Estos registros se realizaron a distintas horas del día (6 am., 11 am., 1 pm y 5 pm) en las temporadas de lluvias y secas y tuvieron por objetivo medir la dinámica térmica y la variabilidad de las temperaturas de condensación o bulbo húmedo respecto a la temperatura de rocío.

La primera medición fue realizada en la parte lateral izquierda, y luego cinco mediciones en el frontis del paramento del sector 1 A. Del mismo modo, se realizaron cuatro mediciones en el frontis del sector 2 A y dos mediciones en la parte lateral derecha del mismo sector.

Tabla 9: Determinación de los porcentajes la humedad relativa ambiental versus la humedad relativa de las superficies líticas (1999)

Puntos de medición	Humedad relativa ambiental (%)	Humedad relativa superficial (%)
1	63	44
2	62	40
3	62	40
4	63	34
5	68	46
6	75	48

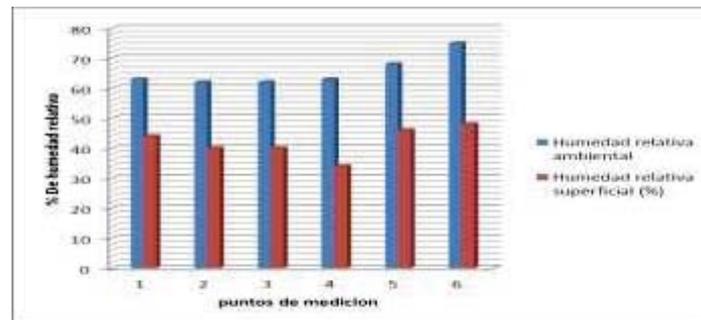


Figura 26: Variabilidad de la humedad relativa ambiental versus la humedad relativa de las superficies líticas (1999)

Leyenda: Hr. ambiental (%), Hr. superficial (%)

La tabla 9, muestra las gradientes de humedad relativa ambiental (%), respecto a la humedad relativa superficial de los elementos líticos en los distintos sectores nos indicó que el vapor de agua se condensa y pasa al estado líquido en 24% la cual se infiltra en la porosidad de la piedra y sirve de aporte para la hidratación del córtex liquénico

5.3.2. Mediciones comparativas de temperatura ambiental externa y temperatura superficial de los elementos líticos por sectores 1A y 2A.

Tabla 10: Evaluación comparativa de las condiciones térmicas ambientales (1999)

Factores	Puntos de mediciones	Temperaturas		
		Ambiental Ta (°C)	Bulbo húmedo	
			Rocío Tr (°C)	Tw (°C)
Ambiental	1	22	18	15,1
	2	24	19,1	16,2
	3	21,5	17	13,9
	4	26	21	18,4
	5	26	21,8	19,6
	6	25	21,8	20,2
Superficie lítica	1	22	15,1	9,1
	2	24	16,1	9,5
	3	21,5	14,3	7,3
	4	26	16,9	8,8
	5	26	17,5	13,4
	6	15	17,2	12,3

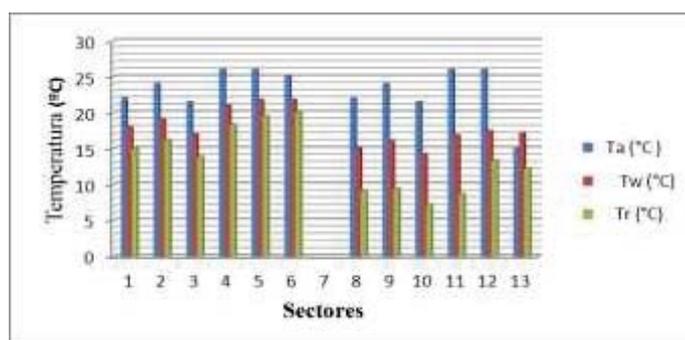


Figura 27: Variabilidad de térmica ambiental y superficial de elementos líticos del Sitio arqueológico de Tarawasi (1999)

Leyenda: Temperatura ambiental (Ta), temperatura de bulbo húmedo (Tw) y temperatura de rocío (Tr);

La tabla 10. Muestra las gradientes térmicas ambiental T_a y la temperatura húmeda

(TW) es de 4.3°C y con respecto temperatura en la superficie líticas en los 6 sectores la

TW es de 6.6°C lo que indicó que existe un mayor valor térmico en la superficie lítica

Tabla 11: Variabilidad térmica ambiental y térmica de la superficie lítica en el sector 1 A, y 2 A. (1999)

Puntos de mediciones	Ambiental	Superficie lítica
	Tr. ($^{\circ}\text{C}$)	Tr. ($^{\circ}\text{C}$)
p1	15,1	9,1
p2	16,2	9,5
p3	13,9	7,3
p4	18,4	8,8
p5	19,6	13,4
p6	20,2	12,3

La tabla 11, muestra las gradientes térmicas de la temperatura de rocío (Tr) ambiental y superficial de los elementos líticos que en promedio representa la Tr de 7.1°C para que el vapor de agua condense en rocío o escarcha formando cristales de hielo, cuyo aumento de volumen, provocó tensiones en la porosidad interna en los elementos líticos meteorizados.

5.3.3. Zonificación de las áreas de estudio

El área de estudio está conformada por 2359 elementos líticos, 598 metros cuadrados, 382.17 m de perímetro y alturas de los paramentos que fluctúan de 3.30 m. a 3.80 m.

Sector 1A

Está conformado por 797 elementos líticos.

Distribuidos en los sub sectores: s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8. Ubicados desde antes de la esquina izquierda hasta el borde derecho de las escalinatas (Figuras: 28,29, y 30).



Figura 28: Sector 1A (s1) Esquina. (1999)



Figura 29: Parte frontal sector 1A: s2, s3, s4, s5, s6, s7 y s8 (1999)

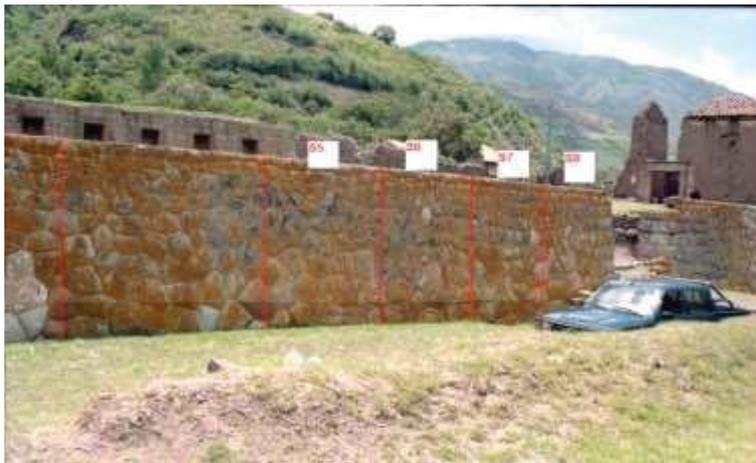


Figura 30: Parte frontal sector 1A: s5, s6, s7, s8 (1999)

El sector 2 A:

Está conformado por 1534 elementos líticos.

Ubicados desde el borde izquierdo del acceso a las escalinatas hasta la esquina y parte posterior. Tiene un área 434.15 metros cuadrados. Distribuidos en los sub sectores: s9, s10, s11, s12, 13, s14, s15, s16, s17, s18, s19, 20s, s21 s22, s23, y s24.



Figura 31: Sector 2A: Sub sectorización: 9s, s10, s11, s12, s13, s14, s15, s16, s17, s18, 19, s20, 21, s22, s23 y s24. s8.

5.3.4. Resultados de la cuantificación de áreas con afectación patológica y Biocorrosión

Sector 1 A: **Sub sectores; s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8.**

Tabla 12: Diagnóstico de la Biocorrosión y patología lítica en el sector 1 A. (1999)

Sector: 1A	Nº Líticos con líquen	Patologías líticas
s1	161	16
s2	63	22
s3	88	30
s4	80	18
s5	87	18
s6	88	13
s7	102	11
s8	64	11

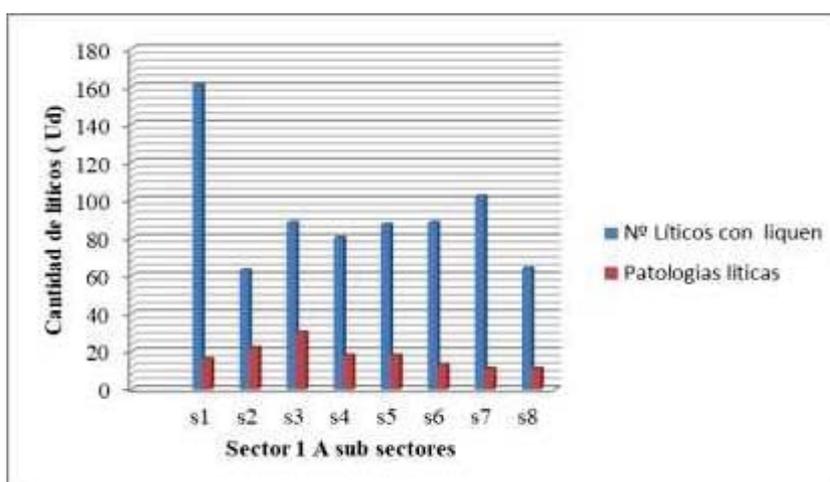


Figura 32: Variabilidad de las patologías líticas Sector 1 A: s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8.

(1999)

La tabla 12, muestra los sectores más afectados con patología lítica diversas fueron los sub sectores s3, s2, s4, s5, s8 y menor patología lítica en s6, s7 y s1 y con líquen s1, s7, s3, s6, s5, s7, s8, y s2.

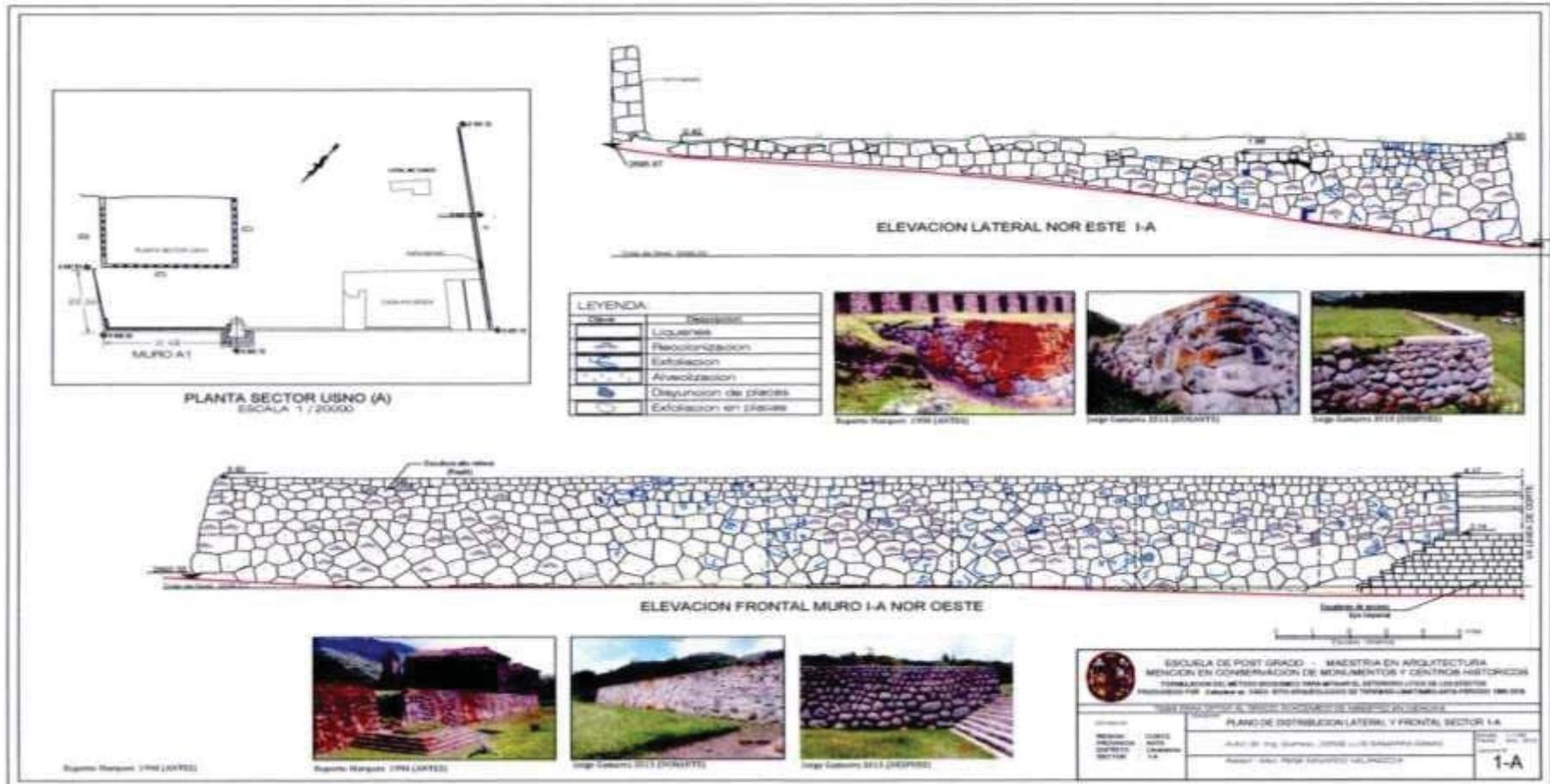


Figura 34: Plano de Evaluación de la segunda aplicación del método bioquímico: Sector 1A, Sitio Arqueológico de Tarawasi 2015

5.3.5. Resultados de la determinación de la patología lítica y Biocorrosión en los sub sectores 2 A:

Tabla 13: Sector 2 A: 9s, s10, s11, s12, s13, s14, s15, s16, s17, s18, 19, s20, 21, s22, s23 y 24 (1999)

Sector: 2 A	Nº Líticos con liquen	Nº Líticos con patología lítica
s12	100	13
s13	70	36
s15	70	30
s24	64	30
s21	48	27
s20	39	26
s23	36	17
s9	32	13
s22	30	25
s11	26	12
s14	25	23
s10	24	2
s16	20	26
s17	20	28
s19	14	18
s18	13	26
Total	631	352

La tabla 13, muestra los subsectores más afectados con diversas patologías líticas fueron s13, s15, s24, s22, s14, s14, s16, s17, s18 y medianamente afectados: s12, s23 s16, s9, s11, s10. (1999)

Con colonización liquénica fueron los subsectores s12, s13, s15, s24, s21, s20, s23, s9, y s22 y con menor afectación los subsectores: 12s, s19 y s18.

Figura 35: Plano de diagnóstico de la primera aplicación del método bioquímico: Sector 2A, Sitio Arqueológico de Tarawasi 1999

Figura 36: Plano de Evaluación de la segunda aplicación del método bioquímico: Sector 2A, Sitio Arqueológico de Tarawasi, 2015

5.3.6. Resultados de la caracterización morfológica del líquen *Caloplaca* sp., por microscopía Óptica.

Los feldspatos y silicatos de hallaron envueltos por las hifas, sus tamaños varían entre 0.5 micras a 10 micras. En el material pétreo colonizado por la *Caloplaca* sp., se observó cristales blancos de oxalato de calcio, producto del metabolismo del líquen y la disgregación de los minerales (plagioclasas y cuarzo) ocasionado por la penetración de las hifas.

5.3.7. Resultados de la caracterización estratigráfica del líquen *Caloplaca* sp., por microscopía óptica.

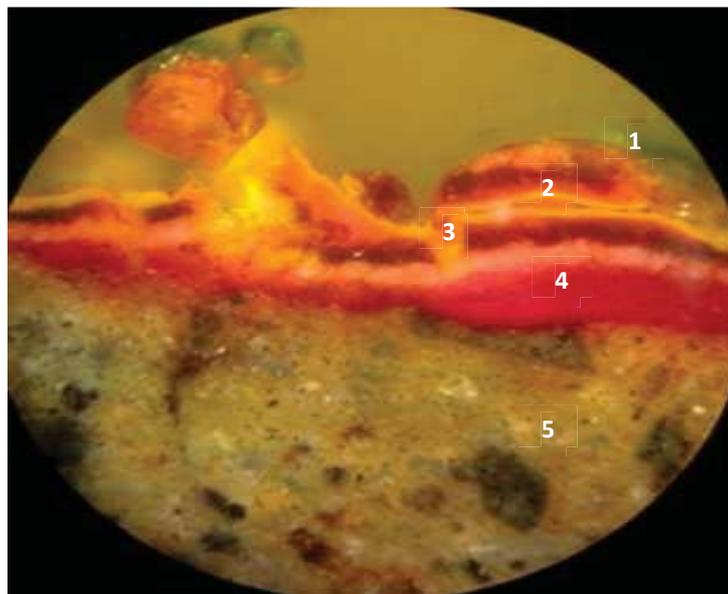


Figura 37: Micrografía de identificación de estratigráfica del talo *Caloplaca* sp. (2015)

Leyenda: Estrato 1. Cortical Color naranja. Estrato 2. Algas. Estrato 3: Capa gonidial. Estrato 4. Interface piedra-liquen. Estrato 5. Sustrato lítico.

La figura 37 la estratigrafía del sustrato piedra-liquen nos muestra que:

El espesor de sustrato lítico de 1657.92 micras.

El depósito de piedra meteorizada de 249.422 micras.

El estrato gonidial o hifas de 116.255 micras.

El estrato fúngico tiene un espesor de 67.949 micras y espesor del córtex es 28.889 micras.

Los datos obtenidos mediante la microscopia nos indicaron que el espesor del sustrato de piedra meteorizada fue el doble del estrato gonidial y casi 4 veces mayor respecto a la capa fúngica.

Estos resultados nos indicaron que el proceso de meteorización del elemento lítico fue muy alto, respecto al grosor del córtex del líquen. Resultados que nos probar que el líquen *Caloplaca* sp., tiene efectos, físicos y mecánicos significativamente peligrosos para la conservación de la superficie lítica.

5.3.7. Resultados de la caracterización óptica y química por microscopia de barrido electrónico MEB.

Los análisis ópticos y químicos fueron realizados por microscopia de barrido electrónico con un equipo. QUANTA 200 (Fuente MyAP Perú, 2018). Parámetros de medición: Ancho WD10.0mm, HV 30KV Detector LFD Escala 2 mm Amplificaciones 100X, 400X, 600X, 800X, 1000X, 1500X, y 4000X. cuyo resultado se muestra en la imagen siguiente:

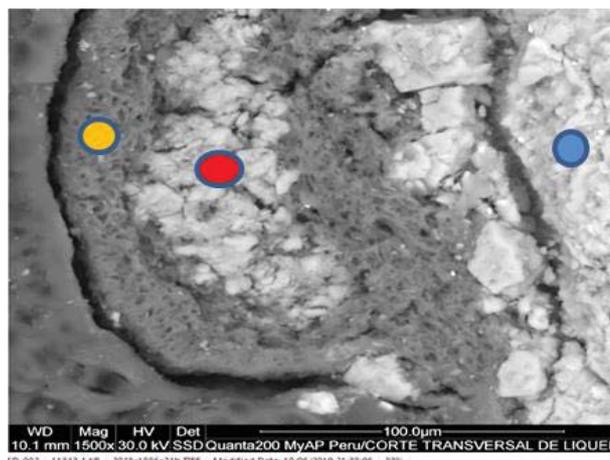


Figura 38:: Micrografía de la distribución estratigráfica de la interface piedra liquen 1500 X. Sitio Arqueológico de Tarawasi. © MyAP Perú/ Gamarra J. (2018).

En la Fig. 38. El punto amarillo corresponde a la estructura reticular del córtex o capa exterior del liquen *Caloplaca* sp. El punto rojo correspondió al agrupamiento de formas cristalinas retenidas en el estrato gonidial los productos metabólicos generados en el proceso de Quelación inter iónica y transformados en otros subproductos como el oxalato de calcio. El Punto azul mostró la superficie lítica completamente desagregada con fisuras y fracturas internas provocadas por la intrusión de las hifas del liquen *Caloplaca* sp.

Tabla 14: Resultados del análisis químico por Barrido electrónico del talo liquénico *Caloplaca* sp., en el córtex, estrato gonidial y sustrato lítico de las muestras M1, M2 y M3. (2018)

Elemento %	M1	Córtex del Liquen	M2	Estrato Gonidial	M3	Sustrato lítico	
C	68,4	75,35	42,5	54,44	32,27	44,65	
O	26,1	23,21	17,6	37,05	35,8	37,19	
Si	0,95	0,45	1,41	0,79	19,31	11,43	
Ca	0,85	0,28	17,9	7,06	1,18	0,49	
Al	0,34	0,17	0,69	0,4	5,55	3,62	
S	0,33	0,14					
Muestra	K	0,27	0,09		2,37	1,01	
	Fe	0,21	0,05	0,45	0,3	1,51	0,45

M1:

De	Na	0,2	0,11			1,76	1,27	acuerdo a la tabla
15.	El	Ni	0,16	0,04				rastreo y análisis
químico,		Mg	0,12	0,06				nos mostraron que
en	el	Cl	0,12	0,04				córtex del líquen,
las		Ti				0,26	0,09	concentraciones

de carbono se incrementaron a 75.35%, y disminuyeron en las concentraciones de; oxígeno (23.21%), silicio (0.45%), calcio (0.28%), aluminio (0.17%), azufre (0.14%), potasio (0.09%), hierro (0.05%) y sodio (0.11%) respecto a las concentraciones los elementos químicos del sustrato lítico sin colonización.

Muestra M2:

Según la tabla 15, el rastreo y análisis químico efectuados en la zona de interface piedra líquen nos mostraron incrementos en las concentraciones de carbono (54.44%), oxígeno (37.19 %), calcio (7.06%) y disminución en las concentraciones de silicio (0.79%), aluminio (0.4%), y hierro (0.3%), respecto a las concentraciones los elementos químicos del sustrato lítico sin colonización.

Muestra M3:

En la tabla 15, el rastreo y análisis químico efectuados en la superficie externa del elemento lítico erosionado, nos mostraron incrementos en la concentración de carbono (44.65%), oxígeno (37.19 %) y disminución en las concentraciones de; silicio (11.43%), calcio (0.495%), aluminio (3.62%), potasio (1.01%), hierro (0.45%) y sodio (1.27%), respecto a las concentraciones los elementos químicos del sustrato lítico sin erosionar. Estos resultados indicaron la ocurrencia de procesos de lixiviación química producidos por el metabolismo del líquen.

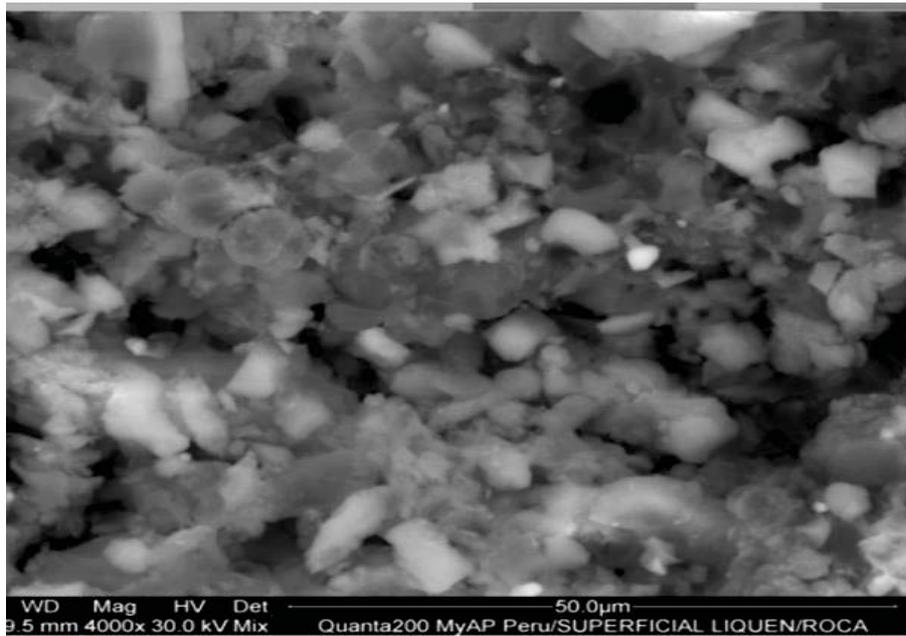
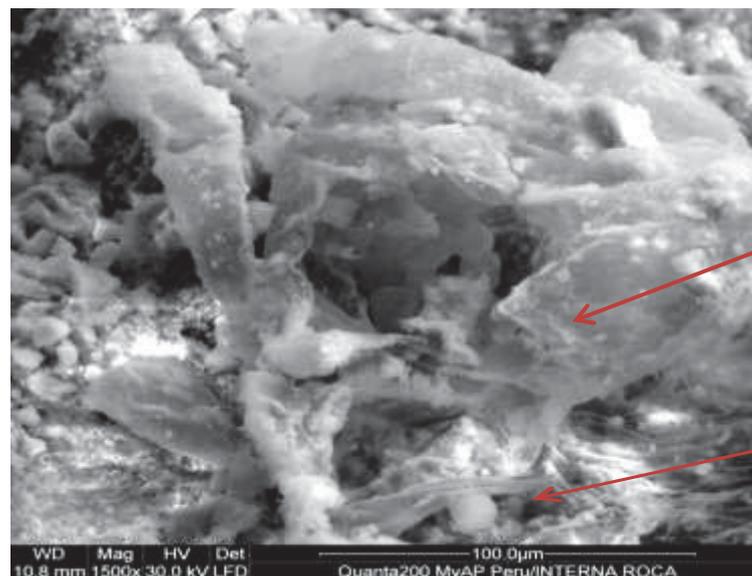


Figura 39: Micrografía de la cristalización del oxalato de calcio en la Interface piedra-liquen. 4000 x.



Cristales de sílice
aprisionados por las
hifas

Hifas del Liquen

Figura 40: Microfotografía de barrido electrónico en la parte interna de la piedra con líquen. 1500x

Las figuras: 39 y 40, nos muestran la acción dinámica de intrusión de las hifas del líquen *Caloplaca sp.*, al interior del sustrato lítico aprisionando los cristales de sílice y feldespatos provocando meteorización y procesos de lixiviación de minerales que

componen los elementos líticos, y que corroborarían la presencia de fenómenos de meteorización química ocasionados por el líquen *Caloplaca* sp.

5.3.8. Resultados de la caracterización química multielemental obtenidos por Fluorescencia de rayos X en el sustrato: piedra-liquen.

Tuvo por finalidad determinar las concentraciones de los elementos químicos mayores más representativos como, silicio aluminio, hierro, calcio, potasio, magnesio, titanio y fósforo, en muestras líticas sin colonización y colonizados por el líquen *Caloplaca* sp.

Los análisis químicos multi elementales fueron realizados en 06 fragmentos líticos obtenidos de los sectores 1 A y 2 A.

Sector 1A:

M1: Muestra de cantera 1.

M2: Fragmentos lítico erosionado

M3: Fragmento lítico con colonización de líquen *Caloplaca* sp.

Sector 2A:

M4 Muestra de cantera 2.

M5 Fragmentos lítico erosionado.

M6 Fragmento lítico con colonización de líquen *Caloplaca* sp.

Los valores comparativos de M2 y M3 estuvieron referidos a la composición química del fragmento lítico de cantera.

Tabla 15: Resultados de las concentraciones químicas en sus componentes principales (2018).

Sector	Sector 1 A			Sector 2 A		
Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Elemento (%)	Lítico cantera 1	Lítico erosionado	Lítico/ líquen	Lítico cantera 2	Lítico erosionado	Lítico/ líquen
Si	30,53	28,86	7,74	29,33	27,23	8,13
Al	8,47	8,69	2,02	9,67	7,49	2,06
Fe	4,49	3,31	3,03	4,03	4,39	2,91
Ca	0,62	3,26	10,18	3,77	5,79	7,64
K	1,09	2,75	1,5	2,47	1,31	1,48
Mg	2,39	0,86	0	1,19	4,26	0
Ti	0,49	0,44	0,2	0,54	0,19	0,23
P	0,2	0,3	0,48	0,37	0,09	0,4

En sector 1A

De acuerdo a la tabla 15, el resultado del análisis químico del fragmento erosionado M2 nos mostró que se produjo incremento en la concentración de calcio (3.26%), aluminio (8.69%), potasio (2.75%), fósforo (0.30%) y disminuyó las concentraciones de silicio (28.8%), hierro (3.31%), magnesio (0.86%), titanio (0.44%). (Tabla: 21).

Según la tabla 15, el análisis químico del fragmento lítico colonizado M3 indicó que se produjo incremento en la concentración de calcio (10.18%), potasio (1.50%) y fósforo (0.48%) y disminuyó las concentraciones de: silicio (7.74%), aluminio (2.02%), hierro (3.03%), magnesio (0.00%) y titanio (0.20%).

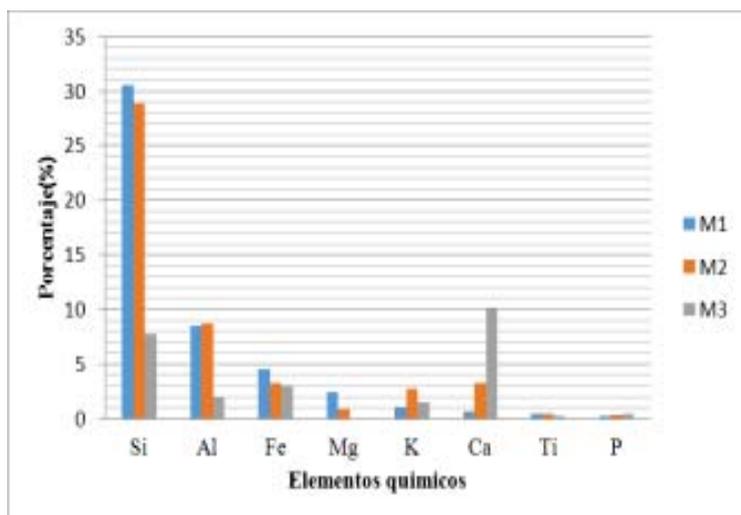


Figura 41: Variabilidad composicional de elementos líticos analizados; M1, M2 y M3 (2018)

En el sector 2 A:

De acuerdo a la tabla 15, el análisis químico del fragmento erosionado del M5 se produjo incremento en la concentración de calcio (5.79%), hierro (4.39 %) magnesio (4.26%) y disminuyó las concentraciones de: silicio (27.23%), aluminio (7.49%), potasio (1.31%), titanio (0.19%), fósforo (0.09%). Asimismo, en la muestra M6 colonizada del sector 2A se produjo incremento en la concentración de calcio (7.64%), potasio (1.48%), fósforo (0.40%) y titanio (0.23%) y disminuyó las concentraciones de silicio (8.13), aluminio (2.06%), hierro (2.91%), magnesio (0.00%) y titanio (0.20%).

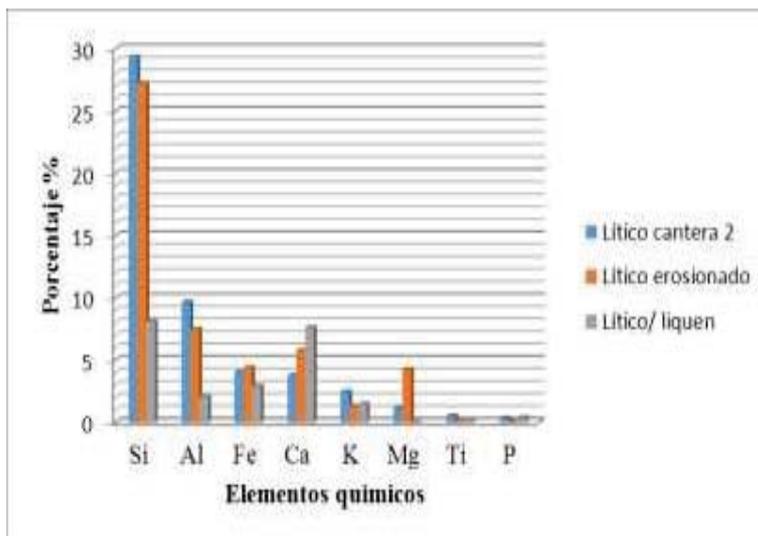


Figura 42: Variabilidad composicional de las muestras M4, M5 y M6 (2018)

Los valores descriptivos en la figura 42, son tomados de la tabla 15

5.3.9. Resultados de la caracterización petrográfica.

El resultado del análisis petrográfico determinó que la piedra meteorizada correspondió a la andesita basáltica cuya textura fue naturaleza porfirítica en matriz microlítica constituido por fenocristales de plagioclasas (80%) hasta de 1,60 mm, presentó superficies de reacción y fenocristales de Hornblenda (7%) hasta de 3.36 mm, intensamente corroídos por la matriz mineral.

Algunos sectores quedaron con moldes esqueléticos y reemplazados por plagioclasas y minerales opacos, los cuales fueron englobados en la matriz microlítico, integrada mayormente por tablas de plagioclasas algo seriadas y micro cristales de augita (5 %) como remanentes esqueléticos.

De otra parte, los ligeros procesos de granoblástesis fueron englobados por tablas de plagioclasas y trazas de biotita parcialmente corroídas, ortosa y apatito, como producto

de la reacción ocurrida durante la cristalización de los fenocristales y dieron lugar a la formación de una textura pseudo micrográfica. (Ing. Pedro Miguel Gagliuffi Espinoza, 2000).



Figura 43: Micrografía petrográfica de Fenocristal de Hornblenda, lítico Tarawasi.

5.3.10. Resultados de la caracterización y análisis edafológico de tierras de los sectores 1A y 2A.

Tabla 16: Resultados del análisis edafológico en los sectores 1A, 2A, Sitio Arqueológico de Tarawasi. (1999)

Parámetros	Unidad	Sector 1 A			Sector 2A		
		Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel I	Nivel II	Nivel III
Humedad real (%)	%	3,43	7,23	6	6,52	3,6	1,3
Densidad real, g/cm ³	g/cm ³	2,01	2,19	2,17	2,18	2,17	2,2
Densidad. Aparente	g/cm ³	1,3	1,35	1,43	1,48	1,32	1,43
Espacio poroso	%	37,8	38,26	38,16	32	39	54
Compacidad	%	62,2	61,74	61,84	68	61	46
Grava	%	60	62,33	55	52	53	56

Finos	%	40	38	45	48	47,2	44
Análisis textural		Franco Arenoso	Arenoso				
Arena		62	58.17	64	63	64	55
Limo	%	31	36	23	31	29	29
Arcilla	%	8	6	13	6	7	20
Humedad Equivalente.	%	11,9	11,63	13,24	11	11	15,78
Capacidad. de campo.	%	12,92	12,68	14	11,98	13	16
Punto marchitez.	%	6,42	6,27	7	5,84	6	8,5
Color Munsell.		2.5 YR 5/3	2.5 YR 5/3	2.5 YR 6/5	2.5 YR 6/4	2.5 YR 5/6	2.5 YR 5/6

En el sector 1 A:

Los resultados del estudio edafológico (Tabla 16). Los suelos del sector 1A, nivel II de la plataforma superior texturalmente fueron identificado como; franco arenoso conformados por 58.6% de arena, 36% de limo, 6% de arcilla, 61.72% compacidad y 62.33% gravas. Características físicas que posibilitaron la rápida infiltración y percolación de las aguas pluviales.

En el sector 2 A:

Según la, los resultados del estudio edafológico (Tabla 16) de los suelos del sector 2A nivel II de la plataforma superior texturalmente fue identificado como franco arenoso conformado por 64% de arena, 29% limo, 7% arcilla, 61% compacidad y 53% gravas. Características físicas que posibilitaron la rápida infiltración y percolación de las aguas pluviales.

5.3.11. Resultados de la caracterización salina en los suelos

La caracterización de la concentración salina de los suelos se efectuó aplicando la técnica de los extractos de saturación en muestras de suelos de acuerdo a la norma 100

ASTM sirvieron para determinar los niveles de salinidad de los sustratos térreos, extraídos de los sectores 1 A y 2 A.

Tabla 17: Resultados del análisis de extractos de saturación en muestras de suelos de los sectores 1A y 2 A (1999)

Sector	Nivel	C.E. μS/cm 25°C	C.E. μS/cm 17°C	T.D.S. (mg/l)	P.sat. (%)	P.s.s. (%)	P.O. (Atm.)	pH	Hu.m. (%)
1 A	I	0,196	0,233	149,12	0,015	0,12	1,25	6,92	7,8
	II	0,3	0,357	228,16	0,023	0,25	3,6	6,6	10,9
	III	0,199	0,237	151,48	0,015	0,09	1,3	6,5	6,1
2 A	I	0,177	0,21	134,66	0,013	0,06	1	6,85	4,2
	II	0,331	0,395	252,5	0,025	0,03	3,58	6,9	10,9
	III	0,209	0,249	159,04	0,016	0,09	1,4	6,5	5,96

En el sector 1A:

Según la tabla 17, los resultados del análisis de la concentración salina del sustrato térreo del sector 1A, nivel II de la plataforma superior extraído a 80 cm de la superficie externa nos mostró un total de sólidos disueltos (TDS) de **228.16 mg/l** y mientras que el total de sólidos disueltos en la superficie lítica colonizada por el líquen nos mostró una concentración de 104 mg/l.

Esta técnica de análisis por extractos de saturación en muestras de suelo del sector 1A, nos permitió determinar la concentración del flujo salino desde el sustrato térreo hasta la superficie lítica colonizada:

Cálculos de los porcentajes de concentración del flujo salino en:

Sector 1A:

Fs. flujo salino

$$F_s = 228.16 - 104 / 228.16 * 100 = 54\%$$

La dinámica del flujo salino en el sector 1A es de 54%

En el sector 2A:

De acuerdo a la tabla 17, los resultados del análisis de la concentración salina del sustrato térreo del sector 2A, nivel II de la plataforma superior extraída a 80 cm de la superficie externa, nos mostró un total de sólidos disueltos (TDS) de 252.5 mg/l y mientras que el total de sólidos disueltos (TDS) en la superficie lítica colonizada nos mostró una concentración de 106 mg/l. Esta técnica de análisis por extractos de saturación en muestras de suelo del sector 2A, nos permitió determinar la concentración del flujo salino desde el sustrato térreo hasta la superficie lítica colonizada:

Cálculo de la concentración del flujo salino en:

Sector 2 A:

Fs. Flujo salino

$$Fs = \frac{252.5 - 106}{252.6} * 100 = 58\%$$

La concentración del flujo salino desde el sustrato terreo hasta la superficie lítica colonizada fue mayor en el sector 2A que en el sector 1A.

5.3.12. Resultados de la caracterización química de los suelos del sector 1 A y 2A

Tabla 18: Resultados de la composición química de los suelos los sectores 1A y 2 A (1999)

Sales	PPM	
	Sector 1 A	Sector 2 A
NaCl	201,55	223,26
CaCl ₂	180,61	201,38
MgCl ₂	157,24	175,39
Na ₂ SO ₄	252,67	280,04

MgSO ₄	241,71	273,77
NaHCO ₃	393,47	435,1
CaSO ₄	263,49	301,15
CaCO ₃	862,37	964,5
CaO	482,93	540,12
Total	3.036,03	3.394,70

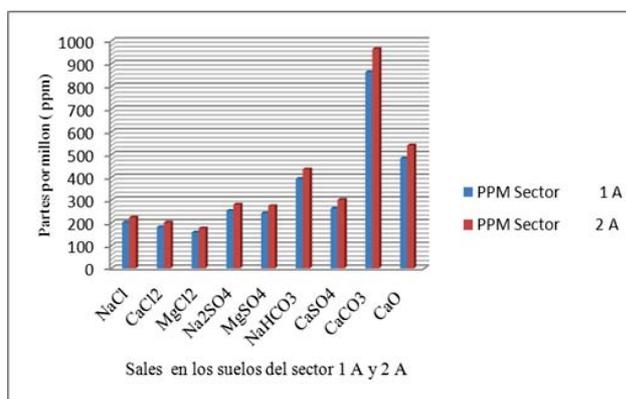


Figura 44: Variabilidad de las concentraciones salinas en los suelos del sector 1A y 2 A (1999)

Según la tabla 18, los resultados del análisis químico de los suelos de los sectores 1 A y 2 A efectuados por conductimetría nos mostraron que las concentraciones de: carbonato de calcio, oxido de calcio, bicarbonato de calcio, sulfato de magnesio, son mayores en el sustrato férreo del sector 2 A, que en el sustrato férreo del sector 1 A.

5.3.13. Resultados de la concentración salina en la superficie lítica de las muestras líticas de los sectores 1 A y 2A.

Para la determinación de las concentraciones salinas en la superficie de los elementos líticos se seleccionaron 04 muestras:

02 muestras del sector 1A (M1, M2)

02 muestras del sector 2A (M3, y M4).

Muestras líticas salinizadas del sector 1 A.

Tabla 19: Resultados de las concentraciones salinas en muestras de líticas de los sectores 1A y 2 A. (2018)

Sector	Muestras	T °C	Peso (g)	Volumen (cc.)	C.E. (µS/cm)	TDS (mg/l)	pH
Agua Desionizada	M0	16.81,009		5	12.88	6.58	6.85
Sector 1 A	M1	16.5	1.28	2.5	92.9	46	8.48
	M2	16.70.99		2.5	209	104	10.88
Sector 2 A	M3	15.9	1.2	2.5	185.8	92.8	9.45
	M4	17.21.04		2.5	212	106	9.77

En la Tabla 19, los resultados del análisis para determinar las concentraciones de las muestras líticas salinizadas del sector 1 A tuvieron como referente la concentración inicial del agua desionizada TDS de 6.58 mg/l. para efectos de comparación con los resultados siguientes:

Los resultados del análisis de la concentración de la muestra lítica salinizada en la superficie nos muestran que:

La muestra M1 sin colonizar del sector 1 A, el total de sales disueltas (TDS) tuvo un valor de 46 mg/l y pH de 8.48, que significa el 86% con concentración salina referido a la concentración inicial del agua desionizada TDS de 6.58 mg/l.

La muestra lítica colonizada M2 del sector 1 A, el total de sales disueltas (TDS) tiene un valor de 104 mg/l y pH de 10.88, que significa el 93 % referido a la concentración inicial del agua desionizada TDS de 6.58 mg/l.

Los resultados obtenidos nos mostraron que la muestra lítica colonizada por el liquen (M2) tuvo mayor concentración salina que la muestra salinizada sin colonización (M1).

Tabla 20: Concentración salina en muestra lítica en M1 y M2 (2018)

Sales	ppm	
	M1	M2
NaCl	55,2	119,13
CaCl ₂	43,1	102,41
MgCl ₂	37,3	89
Na ₂ SO ₄	67	148,5
MgSO ₄	46,9	126,29
NaHCO ₃	117	236,82
CaSO ₄	9,1	120,62
CaCO ₃	180,3	476,87
CaO	101	267,05
Total	657	1.686,70

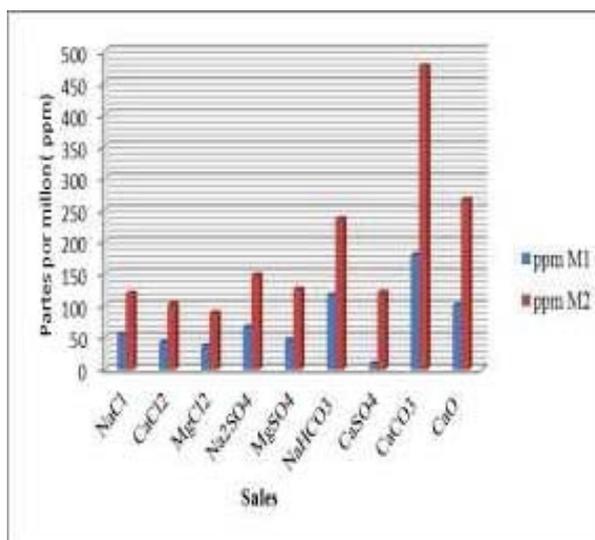


Figura 45: Variabilidad de las concentraciones salinas en las muestras M1 y M2, sector 1A (2018)

De acuerdo a la tabla 20, los resultados de los análisis por el método de extracto de saturación nos mostraron que la concentración de carbonato de calcio en la muestra

lítica salinizada (M1) es tres veces mayor respecto a la concentración de carbonato de calcio en la muestra lítica M2 colonizadas por el líquen.

Sector 2A

Los resultados del análisis para determinar las concentraciones de las muestras líticas salinizadas del sector 2A tuvieron como referente la concentración inicial del agua desionizada TDS de 6.58 mg/l. para efectos de comparación con los resultados siguientes:

La muestra lítica salinizada M3, el total de sales disueltas (TDS) tiene un valor de 92.8 mg/l y pH de 9.45, que significa el 90 % referido a la concentración inicial del agua desionizada TDS de 6.58 mg/l.

La muestra lítica colonizada M4 el total de sales disueltas (TDS) tiene un valor de 106 mg/l y pH de 9.77 que significa el 93 % referido a la concentración inicial del agua desionizada TDS de 6.58 mg/l.

Tabla 21: Resultados de las concentraciones salinas en los extractos saturación en muestras de líticas en el sector 2 A (2018)

Sales	p μm	
	M3	M4
NaCl	108,6	119,2
CaCl ₂	92,5	102,48
MgCl ₂	80,3	89,05
Na ₂ SO ₄	135,1	148,58
MgSO ₄	112,4	126,38
NaHCO ₃	216,9	236,95
CaSO ₄	102,2	120,74
CaCO ₃	427,7	477,17
CaO	239,5	267,22
Total	1515,1	1.687,75

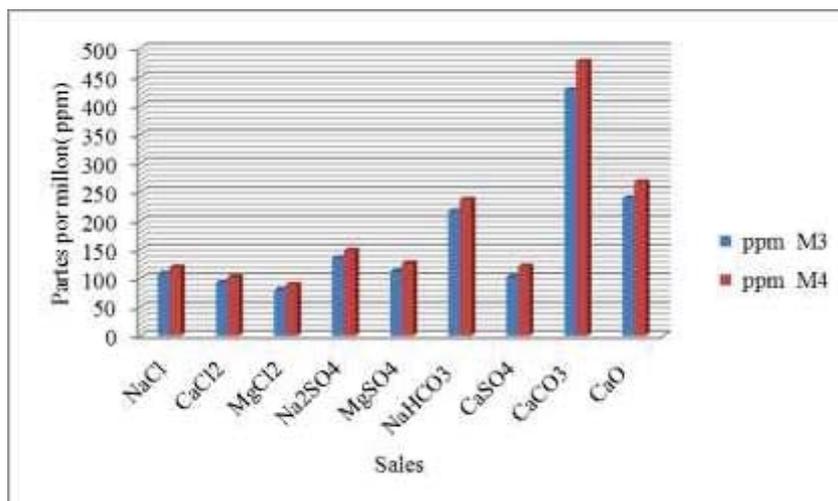


Figura 46: Variabilidad de las concentraciones salinas en las muestras M3 y M4, sector 2A. (2018)

Tabla 21. Los resultados de los análisis por extracto de saturación mostraron que la concentración interna de carbonato de calcio en la muestra lítica salinizada (M3) tuvieron valores ligeramente mayores que la concentración externa de carbonato de calcio en la muestra (M4) colonizadas por el liquen.

5.4. Interpretación de los resultados.

El monumento Arqueológico de Tarawasi por su ubicación geo topografía está expuesta a fuertes cambios climáticos estacionales de extrema insolación en los meses de julio a octubre y sequedad extrema en los meses de mayo, junio con temperaturas ambientales máxima de 25 °C., y mínimas de 5 grados.

Estas gradientes de térmicas cíclicas incidieron sobre la superficie de las piedras ocasionando dilataciones y contracciones y coadyuvadas por precipitaciones pluviales intensas en los meses de; enero, febrero y marzo.

Tanto la temperatura cíclica, externa e interna de la superficie como los suelos fueron los contribuyentes principales en los procesos de patología lítica de la andesita basáltica. El comportamiento edafológico de suelos franco arenosos de la plataforma superior de los sectores 1A y 2A, permitieron dinamizar rápidos procesos de percolación, difusión y transporte de flujo salino retenidas en la porosidad de las microestructuras líticas del sector 1A hasta en 54% con pH de 8.48 y en el sector 2A hasta 58% y pH de 10.88.

De otra parte los resultados de los análisis de las muestras líticas meteorizadas mostraron concentraciones salinas en el sector 1 A de 86% y en el sector 2 A de 90%, Mientras que las muestras líticas colonizadas mostraron concentraciones salinas en el sector 1 A 90% y en el sector 2 A 91%.

La determinación de las concentraciones salinas en las muestras de suelo mostraron concentraciones variables de carbonato de calcio relacionados directamente con los eventos de la dinámica del transporte del flujo salino, gradientes de humedad ocasionado en la época de lluvia e incrementada por las gradientes térmicas internas e insolaciones externas recurrentes en épocas de secas favorecieron la solidificación y aumento de volumen de los cristales salinos depositados en la porosidad de los elementos líticos, como contribuyentes directos de la patología lítica.

Los resultados de los análisis químicos e instrumentales efectuados sobre fragmentos líticos; meteorizados y colonizados de los sectores 1A y 2 A, en la ultra estructura química y mineral en la interface piedra-liquen de los elementos líticos, tuvieron como denominador común, el incremento en las concentraciones de: calcio, oxígeno, carbono y la disminución de las concentraciones de silicio, potasio, hierro y comparado con la concentración química y mineral de la piedra de cantera determinaron que, la colonización del liquen constituyó un factor importante de contribución en la producción de la Biocorrosión del conjunto pétreo.

Los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos durante el desarrollo de las fases de: diagnóstico, aplicación, evaluación y monitoreo, describieron los efectos de la patología lítica y Biocorrosión e hicieron posible la aplicación del método Bioquímico y la mitigación de los efectos de la patología lítica, Biocorrosión y restablecimiento de las condiciones de equilibrio del sistema pétreo del sitio arqueológico de Tarawasi.

5.5. Discusión de resultados

Como se puede observar los resultados obtenidos en la etapa de:

Fase de Diagnóstico

El establecimiento de los criterios teóricos y metodológicos permitieron la identificación de las causas del proceso de patología lítica y Biocorrosión a partir del estudio conjunto de la ubicación geo topográfica, variables climáticas y estacionales de alta insolación en los meses de julio a octubre y sequedad extrema en los meses de mayo y junio, temperaturas ambientales máxima de 25 °C durante el día y mínimas durante la

noche de 5°C, incidieron en el comportamiento térmico de expansión y dilatación de las unidades líticas del conjunto pétreo, a los que se sumaron incrementos periódicos de precipitaciones pluviales variables de hasta de 171mm en los meses de noviembre a marzo, coadyuvados por la dinámica del flujo salino que transporta a través del suelo franco arenoso concentraciones de sales disueltas, así tenemos: Que la concentración salina en el sector 1 A fue de 54% y pH 8.48 y en el sector 2 A fue de 58% y pH de 10.88.

Del mismo modo los niveles de salinización en las superficies líticas meteorizadas y colonizadas en el sector 1 A fue de 86% y en el sector 2 A fue de 93%

En este sentido, los niveles de salinidad y los efectos de la temperatura diferencial interna de los elementos líticos favorecieron la cristalización de sales que ejercieron presión sobre la microestructura interna y evitaron el libre flujo hídrico ejerciendo efectos de taponamiento de la superficie exterior del lítico.

De otra parte la caracterización química composicional y microscópica obtenidos mediante los equipos de fluorescencia de rayos X y microscopia de barrido electrónico, determinaron que la Biocorrosión lítica producida por la infestación del líquen *Caloplaca* sp., sobre la superficie lítica meteorizada de la andesita basáltica fue producto también de la intensa acción metabólica del líquen, esencialmente debido a la excreción de ácidos orgánicos con pHs ácidos de 5.2 y 5.7 (Adamo P,1993), que provocaron la desagregación estructural del elemento lítico producto de la penetración de las hifas (Prieto B., et al., 1995), que se adhirieron a las partículas líticas del sustrato con una sustancia mucilaginosa de polisacárido (Gracia, 2017) y generaron compuestos

químicos que lixiviaron los minerales precipitándolos en forma de óxidos de; hierro, geles amorfos de aluminio, sílice, oxalatos y minerales arcillosos (Ariño, 2002), mediante procesos de dimerización y oxidación en la interface piedra (Córdova V.19751978).

Estos compuestos actuaron directamente sobre los elementos químicos (Si, Al, Fe y K) de la piedra mediante procesos de Quelación interiónica en la interface piedra liquen (Chen, 2000). Por consiguiente, el incremento de las concentraciones de; calcio, carbono, oxígeno. Componentes químicos que conforman el oxalato de calcio, corroboran lo observado por Puy Alquisa M et al.2015.

Fase de aplicación

El Establecimiento de los criterios teóricos para la preparación del insumo bajo la norma (ASTMC110) permitió la preparación y aplicación de la solución alcalina a fin de lograr una real difusión y efectiva reactividad e ionización del ion hidroxilo de 1.3 micras en el tiempo de 15 minutos y adquiera un pH alcalino con valor de 12.

El porcentaje del Hidróxido de calcio disponible en la solución está en relación directa con la concentración de 40% como oxido de calcio. Concentración baja para tales efectos y fue necesario realizar una homogenización completa para formar el hidrato.

A partir de este lineamiento técnico se determinó emplear 100 gramos de óxido de calcio depositado sobre un volumen de 400 ml de agua desionizada, es decir, con una concentración de 0.250 Kg/l, como referente técnico determinados por la norma (ASTMC110). Produce concentraciones de hidróxido de calcio con pH favorable de pH 12 requerido para propiciar la desnaturalización y deshidratación del talo liquénico

De otra parte el tiempo de permanencia de la solución de hidróxido de calcio depositada sobre la superficie lítica colonizada se calculó en 5.5 horas, tiempo en el cual la reactividad de la solución de hidróxido de calcio sobre la superficie exterior del liquen se hace evidente por el cambio de coloración del córtex del liquen de color anaranjado a un color rojo carmesí que muestra el proceso de deshidratación y degradación de la estructura del talo liquénico y hace posible su fácil erradicación mecánica mediante cepillos de cerda de plástico y enjuagues sucesivos con agua desionizada proceso mediante el cual se logró liberar el liquen de la superficie lítica.

La preparación de la pulpa de celulosa con agua desionizada y alcohol (96%) redujo la tensión superficial del agua desionizada para mejor actuación para permitir la extracción de sales y posibles residuos del talo liquénico Esta pulpa previamente homogenizada por agitación se aplicó en espesor de 1cm, cuadrante por cuadrante en áreas de 2m x 3m sobre la superficie lítica liberada del liquen. Esta pulpa de celulosa permaneció adherida a la superficie lítica por tiempo de una semana a fin extraer durante el secado la salinidad de la superficie externa.

El proceso de desalinización concluyó cuando la papeta seca tuvo un color amarillento que indicó que el proceso ha extraído las sales de la superficie, luego del cual fue retirada de forma manual de la superficie tratada.

Finalizado el proceso se recuperaron muestras de papetas secas, tuvo como objetivo evaluar por sectores la concentración salina extraída y medir la eficiencia del proceso.

El proceso finalizó con la aplicación preventiva del fungicida Tego HB al 3% en medio agua desionizada a fin de inhibir posibles residuos de la estructura del talo líquénico evitar la recolonización.

En este sentido desde el año 1999, 2015, 2018, la secuencial aplicación del método bioquímico **ha probado** su efectividad en la mitigación de los efectos de patología lítica y Biocorrosión producidos por la colonización de los líquenes, además del restablecimiento de las condiciones de la dinámica natural; física, química, mecánica, tanto interna y externa que propició el libre flujo hídrico y térmico del sistema pétreo y evitó el repoblamiento del liquen como consecuencia de la implementaciones de acciones de conservación, asistidos dentro de un marco multidisciplinario.

Fase de evaluación

El establecimiento de los criterios y procedimientos analíticos para el procesamiento e interpretación de los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos en cada ítem desarrollados en las fases de diagnóstico y tratamiento producto de la aplicación del método bioquímico se relacionan directamente con las implicancias y contribuyentes internos y externos del espacio ambiental, variabilidad térmica interna y externa (condiciones; físicas, químicas y mecánicas del material lítico (Tatis C. Roy et al. 2012), y las Bioalteraciones causadas por los líquenes que actúan en estratos rocosos los cuales producen el deterioro lítico (Magnin Lucia et al, 2017) requirieron de análisis microscópicos de alta resolución, mediante los cuales se pudo observar el comportamiento de la ultra estructura de los líquenes crustosos que ocasionan;

desagregación de la superficie externa, micro fracturaciones, desagregación de las estructuras internas (Xavier Ariño et al. 2002).

En este sentido para nuestro estudio, la aplicación de metodologías sistemáticas de análisis; físicos, químicos, mecánicos y uso de tecnologías de análisis tradicionales e instrumentales modernos de alta precisión como; microscopios ópticos de luz visible y polarizada, microscopia de barrido electrónico (MEB), fluorescencia de rayos X, nos permitieron obtener resultados confiables así tenemos que:

La evaluación de los resultados obtenidos en la fase de evaluación de la primera aplicación del año 1999

En el sector 1 A. La patología lítica fue mitigada en 17% y la Biocorrosión fue mitigada en 92% alcanzando una eficiencia del método: 85% y en el sector 2 A, la patología lítica fue mitigada en 13,62% y la Biocorrosión fue mitigada en 41%. Y obtuvo una eficiencia de 93%.

En la segunda aplicación realizada en el año 2015 para mitigar los efectos de recolonización en el sector 1 A. La patología lítica fue mitigada en 18%. La Biocorrosión fue mitigada en 7 % y obtuvo una eficiencia del método de 98 %
Asimismo, en el sector el sector 2 A, la patología lítica fue mitigado en 23 %. La Biocorrosión fue mitigada en 1% alcanzando una eficiencia del método: 100 %.

CONCLUSIONES

La formulación del método bioquímico tuvo como fundamento el cambio del PH ácido a un pH alcalino y ha probado su efectividad en las dos etapas de aplicación 1999 y 2015 para mitigar los procesos de Patología lítica y Biocorrosión en el Sitio Arqueológico de Tarawasi-Limatambo. Periodo 1999-2015-2018

El diagnóstico identificó que el Sitio arqueológico de Tarawasi está expuesto a fuertes procesos de insolación térmica hasta más de 25 °C y bruscos descensos de temperatura de hasta 5°C en los meses de mayo, junio y julio. Las precipitaciones pluviales alcanzan los límites de 71mm en épocas de lluvias. El suelo franco arenoso permite el transporte de flujo salino de 54% a 58%. El pH del líquen *Caloplaca* sp., es de 5.15 a 5.23. El espesor del talo es de 249.42 micras. La concentración de calcio en la interfase fue de 7.64% a 10.18. La colonización del líquen produjo la reducción de las concentraciones de hierro (Fe), potasio (K) y magnesio (Mg) del sustrato líticos e incremento en las concentraciones de calcio (Ca), aluminio (Al), carbono (C) y oxígeno(O) en la interfase piedra líquen, propiciaron mediante procesos bioquímicos el intercambio de elementos orgánicos e inorgánicos a través de procesos de Quelación interiónica producción de ácido oxálico y oxalato calcio los que provocaron la lixiviación de los elementos constitutivos del sustrato lítico y en consecuencia el debilitamiento de la estructura lítica de la piedra

La aplicación de la lechada de cal en una concentración de 400g/l tuvo como objetivo cambiar el pH ácido del líquen a un pH alcalino para generar reacciones químicas de

oxidación, hidrólisis y deshidratación en un tiempo de 5.55horas que permitió erradicar el liquen Caloplaca sp. La aplicación del ampapetado realizado para desalinizar y eliminar los residuos del liquen tuvo un tiempo de residencia de 7 días. La eficiencia alcanzada en el desalinizado fue de 92%

Fumigación con Fungicida Tego HB 3% ha probado su efectividad durante el periodo de 1999 a 2015.

La evaluación de los resultados en la primera aplicación del método bioquímico en el año 1999, ha mostrado que en el sector 1 A: La patología lítica fue mitigada en 17% y la Biocorrosión fue mitigada en 92%, alcanzando una eficiencia del 85% y en el Sector 2 A: La patología lítica fue mitigada en 3.62% y la Biocorrosión fue mitigada en 41% y alcanzo una eficiencia de: 93%

De otra parte, la segunda aplicación realizada en el año 2015 (Recolonización), en el sector 1 A: La patología lítica fue mitigada en 18%, La Biocorrosión fue mitigada en 7 % Eficiencia del método alcanzo el 98 % y el en el sector 2 A: La patología lítica fue mitigada en 23 %, La Biocorrosión fue mitigada en 1%. La eficiencia del método: alcanzo el 100 %

El monitoreo en el Sector 1 A año 2015 identifico indicios de repoblamiento en 57 elementos líticos (7%) del área tratada. En el sector 2 A identifico indicios de recolonización en 8 elementos líticos que representa el 8 % del área tratada. Producto del mantenimiento efectuado desde el año 2015 hasta el año 2018.

RECOMENDACIONES

GENERAL.

Se recomienda que el método bioquímico establezca directrices de orden metodológico y científico para la correcta aplicación del Método Bioquímico de acuerdo al grado de afectación de patología lítica y Biocorrosión para casos similares presentados en otros monumentos arqueológicos y arquitectónicos de valor patrimonial de la región del Cusco.

ESPECIFICAS.

R1: Fase de diagnóstico

Se recomienda: Desarrollar mayores estudios metodológicos de diagnóstico de patologías líticas y Biocorrosión mediante el uso de técnicas e instrumentos de medición modernos que posibiliten el estudio de la ultra estructura de los microorganismos epilíticos y endolíticos en la interface piedra liquen en monumentos arqueológicos y arquitectónicas de valor patrimonial

R2. Fase de Aplicación:

Se recomienda: Aplicar el método bioquímico en las temporadas de lluvias en forma secuencial en sus diferentes etapas con la participación de equipos de profesionales y técnicos previamente capacitados a fin de lograr la eficiencia en su aplicación.

R3. Fase de evaluación

Se recomienda: Evaluar comparativamente la aplicación del método bioquímico en casos similares presentados en otros monumentos arqueológicos y arquitectónicos de valor patrimonial de la región del Cusco, y, profundizar los estudios de la Microquímica de liquen correspondientes a otras especies liquénica del tipo Crustoso.

R4. Fase de monitoreo

Se recomienda: Establecer en las etapas de: diagnóstico, aplicación, evaluación y monitoreo, nexos entre las universidades y la Dirección Desconcentrada de Cusco para promover y diseñar tratamientos de conservación preventiva en monumentos arqueológicos y arquitectónicos con valor Patrimonial de la Región.

BIBLIOGRAFÍA

Adamo, P.; Marchetiello, A. Y Violante, P. (1993). The weathering of mafic rocks by lichens. *Lichenologist* 25(3), 285-297 Dipartimento di Scienze Chimico-Agrarie, Università di Napoli "Federico II", Portici, Italy.

Alcalde M. (2007). Tratamientos de Conservación aplicados a Materiales Pétreos en Construcciones Históricas. Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción. Actas de Jornada Técnica. Badajoz

Alvarez, A., Argemi, M., De La Orden, V., Domenech, X., Gerbal, J., Navarro, A., Prada, J.L., Puges, M., Rocabayera, R., And Vilaseca, L., (1994). "Physical, Chemical and Biological weathering detected in the Romanic portal of the San Quirze de Pedred.

Angles Víctor., (1978). Historia del Cusco Incaico, Ed. Industrial Gráfica S.A., Perú.

Ascaso Y Wierzchos (1994). En su estudio "Nuevas aplicaciones de las técnicas Submicroscópicas en el estudio del Biodeterioro producido por talos liquénicos" Nuevas aplicaciones de las técnicas Sem 10, 103-110.

Brodo, I. (1973). Substrato Ecology. In: V. Ahmadjian & M. E. Hale (Eds.), *The Lichens: Church (XIIc)* in: V. FASINA, H. Ott, F. Zezza (eds.), *Conservations Monuments on the Mediterranean Basin, Proceeding of the third International Symposium, Venice, June 22, 25.*

Caballero Galán (2018-2019): “Metodología de Conservación Y Restauración de la escultura en piedra” Asignatura: Metodología de Conservación y Restauración de Escultura I (materiales pétreos) Curso: Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural Departamento: Pintura y Conservación-Restauración, Facultad: Bellas Artes Universidad Complutense de Madrid.

Calcium hydroxide: its uses of in present-day endodontics Más Sarabia Clínica Estomatológica Provincial Docente Ismael Clark Mascaró. Camagüey, Cuba. Versión On-line ISSN 1025-0255, AMC vol.9 no.3 Camagüey mayo-junio. 2005.

Chaparro De Valencia, M. (2002). Hongos liquenizados. Universidad Nacional de Colombia. ISBN: 9587012410,9789587012415.

Córdova V, (1975) “Fisiología De Las Sustancias Liquénicas”, Ed. Alhambra S.A., España.

De Los Ríos Murillo A. (2012), “Líquenes en Machu Picchu” Congreso “Cambio Climático y Biodeterioro en el Patrimonio Pétreo de Machu Picchu, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y MNCN-Fundación Carolina y del Programa Geo materiales- España.

Díaz T. (2003). Evaluación del estado de conservación del Complejo Arqueológico de Tarawasi. Repositorio Biblioteca Central Instituto Nacional de Cultura Cusco.

Dornieden T., Gorbushina A. & Krumbein. W. E. (2000). “Patina: Physical and Chemical interactions of sub-aerial. Biofilm with Objects of Art. O. Ciferri; P. Tiano and G. Mastromei (eds.). New York, pp. 105-120.

Fort Gonzales, Rafael (2013); “Utilización de láser y biosidas para la eliminación de líquenes” Instituto de Geo ciencias (CSIC-UCM).

Friedmann, E. I. (1982). Endolithic microorganisms in the Antarctic Cold Desert. Science 215: 1045-1053.

Fry, E. J. (1922). Some types of endolithic limestone. Ann. Bot. 35:541-562

Gagliuffi Espinoza Pedro Miguel (2000); Análisis Petrográfico S.A Tarawasi, Facultad de Geología Minas y Metalurgia y Ciencias Geográficas, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geológica Laboratorio de Microscopia Óptica Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Gamarra J. (1998). Estudios y Conceptos Para Tratamientos y Conservación De Los Muros del Complejo Arqueológico de Tarawasi, INC, Perú.

Gonzales A. Roxana (2004): Erradicación De Lito Líquenes Del Complejo Arqueológico De Tarawasi) Tesis de grado: Facultad de Ciencias Biológicas, Carrera profesional de Biología.

Guglielmo De Angelis (1970): “Guide To The Methodical Study Of Monuments And

Causes Of Their Deterioration. International Center Of Study Of Preservation And Restoration Old Cultural Property”, Roma, Italia.

Hawksworth D. (1973) “Ecological factors and species delimitation in the lichens”. In: V. Heywood (Ed.), *Taxonomy and Ecology*: 31-69. Academic Press. New York. London.

Huisaraymi L y Quispe Nory (2021) Tesis de Grado. Identificación de Litopatologías de los paramentos externos prehispánicos en la calle Conquista Cusco”

Jimenez, E, Ruiz, A, Y Sanchez, P.J. (2005) Preparación de secciones estratigráficas: aspectos prácticos de análisis de estratos en obras del patrimonio cultural (Pigmentos y soportes). Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio. Bol.Soc.Esp.Cerm V 44(6) 382-386, España.

Krumbein, W. E. (2002); “Patina and Cultural Heritage and Geomicrobiologist’s Perspective”. In: R. Kozłowski (ed.), *Proceeding of the 5th European Commission Conference “Cultural Heritage Research: a Pan European Challenge”*, Cracow, 16-18 May 2002, pp. 39-47.

Lazarini L.; Laurenzi-Tabasso M. 1986 “Restauero de la piedra”, CEDAN. Ed. Dott Antoni Milani.

Macmilian Marc, (1992), “Patology of Building Material International Center for De

Study of Preservation and Restauration of Cultural Property” Roma.

Magnin Lucia Angélica, Lynch Virginia y Gracia Renato (Los líquenes en materiales arqueológicos líticos ISSN 0373-580 X Bol. Soc. Argent. Bot. 52 (3): 409422. 2017, división Arqueología, FCNyM - Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
UNLP - Universidad Nacional de La Plata, CONICET.

Manzano Truzzer Alejandro, (1991). “Restauración Arquitectónica” Edit. Triller México.

Mejía Mejía, Elías, (2001): “La Investigación Científica”, Lima Perú, Editorial Cenit.

Ontiveros Ortega, Esther. (2003) “La Ciencia de los Materiales- Piedra Natural”. Centro de Intervención del IAPH. PH Cuadernos Programa de Normalización de estudios previos aplicado a Bienes inmuebles. Andalucía-España.

Ordaz, J., Y Ebert, R. M. (1988) "Glosario de términos relacionados con el deterioro de las piedras de construcción", Materiales de Construcción, vol. 38, n.- 209.

Ortega Andrade F. (1989) “Patología de la Construcción”. Edit. S.A Editores Técnicos Andaluces. Sevilla España.

Peraza Zurita, Y. (2004), “Biodeterioro por micro algas en Fuentes de mármol- descripción y formas de alteración relacionadas propuesta de material de intervención

interacciones entre micro algas y sustrato: estudio de superficies”. Tesis doctoral. Universidad de Granada España.

Pumacchua E. (2014). Realiza estudio de caso: “El empleo de arcilla en el Parque Arqueológico de Sacsayhuamán” (Informe Técnico Dirección Regional de Cultura (DRC).

Pumacchua E. (2018). Realiza Tesis de: “Los efectos de la Lecidea sp., en elementos líticos del sector Baluartes Sacsayhuamán Cusco.

Ramírez Ángel. Cano Asunción (2005). En su estudio “Liquenobiota de la localidad de Pueblo Libre (Huaylas, Ancash, Perú”.

Renobales, G. (1987). “Hongos liquenizados de rocas carbonatadas en el occidente de Vizcaya y parte oriental de Cantabria”. Tesis doctoral (inéd.). Universidad del País Vasco. Lejona (Bilbao).

Rodríguez Genné; Álvarez Llanes; García Joel; Arias Herrera; Maheli (2005).

Sameño Puerto, M.; Villegas Sánchez, R.; García Rowe, J. (1996). Tesis doctoral “El Biodeterioro en edificios del Patrimonio Cultural”

Sandoval E. Marco (2011) “Método de Análisis Físico de Suelos”; Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía Departamento de Suelos y Recursos Naturales.

Seaward, M. R. D. (1976). “Performance of *Lecanora muralis* in an urban environment”. In: Brown, Hawksworth & Bailey (Eds.), *Lichenology Progress and Problems*: 323-357. Academic Press. New York. London.

Silva Omar L. (2017). En la tesis “Determinación de los Agentes de Biodeterioro en el Monumento Pétreo del Templo de San Pedro, Centro Histórico del Cusco” (UNSAAC Cusco).

Swiecioski Slawomir (2013) “Congreso Internacional de Biodeterioro y Cambio Climático en la ciudad Inca de Machupicchu”, Instituto de Geociencias (CSIC-UCM) / DRC/MC.

Tatis Castro Et Al. 2012 “Enfoque químico del deterioro y Biodeterioro de rocas calcáreas conformantes de monumentos patrimoniales de importancia” Edit. Luna azul ISSN2474. N° 36 enero junio 2013 p 5.

Telechea (1985). “Enciclopedia de Conservación y Restauración” Ed. Lib. España Madrid.

Tesis Doctoral: Marta Sameño Puerto “**El biodeterioro en edificios del patrimonio cultural. Metodología de evaluación de tratamientos biocidas**” Dpto. Ingeniería Química y Ambiental. Escuela Técnica Superior de ingeniería (us) Instituto Andaluz del patrimonio histórico (IAPH). Junta de Andalucía.

Torroja Eduardo, (1990). “Diagnosis y tratamiento de la piedra Madrid” Instituto de Ciencias de la Construcción, Consejo de Superior de Investigaciones Científicas Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (pp.12-25).

Valdeón, L.; Eibert, R. M., Y Marcos, R. M. (1985): "La alveolización y otras formas de alteración desarrolladas sobre las areniscas del Palacio de Revillagigedo de Gijón", *Materiales de Construcción*, vol. 35.

Vargas Febres Carlos, Achahui Álvarez Aris, Rodríguez Salas Danna (2019) “Patologías mecánicas en elementos líticos de las iglesias Patrimoniales en la Plaza Mayor de Cusco” Universidad Andina Cusco. Perú

Videla H., Guiamet P. Y Saravia G. (2003), “Biodeterioro de materiales estructurales de sitios arqueológicos de la civilización Maya”. Universidad Nacional De La Plata - Facultad De Ciencias Naturales Y Museo. *Revista del Museo de La Plata* 2003, *Publicación Técnica y Didáctica*, 44: 1-11.

Villegas Sánchez, R. (1999). Ensayos de alteración de materiales pétreos “Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones. PH: *Boletín del IAPH*, no 31, pp. 78-88.

LINKOGRAFIAS:

Alta Vista 1998, LICHENS ECOLOGY (1998)

<http://www.toyen.uio.no/botanick/rll.htm>,

Alta Vista, Lecciones Hipertextuales De Botánica (1998)

<http://www.unex.es/liquen2/nature.htm>,

Alta Vista Los Líquenes, (1999) <http://www.unex.es/liquen1/nature.htm>,

B. Prieto B. Silva T. Rivasa J. Wierzchosb C. Ascaso C “Mineralogical transformation and neoformation in granite caused by the lichens *Tephromela atra* and *Ochrolechia parella*” [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(97\)00052-8](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(97)00052-8).

Carrascosa Begoña y Medina Lorente Olga (2018). Investigación, intervención y didáctica para la conservación y restauración del Parque Arqueológico de Cochasqui (Ecuador). *Devenir - Revista De Estudios Sobre Patrimonio Edificado*, 1(1), 49-68. <https://doi.org/10.21754/devenir.v1i1.237>: Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia (España)

Chen J. (2000) En el estudio “**Chen (2000)** En el estudio “The Weathring of the rocks induced by lichen colonitacion” a” a review. *Catena* 39: 121–46.

Recuperado de: http://pages.mtu.edu/~raman/SilverI/MiTEP_ESI-/Lichen_Rings_files/ChenetalCatena.pdf

“Diagnóstico de procesos de Biodeterioro por combinación de Microscopia In Situ y técnicas de biología molecular” Fundación Catedral De Santa María

<http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a13.pdf>

“Enfoque Químico del Deterioro y Biodeterioro de Rocas Calcáreas conformantes de

Monumentos Patrimoniales de Importancia Histórica y Cultural”

Instituto De Recursos Naturales, Centro De Ciencias Medioambientales Consejo

Superior De Investigaciones Científicas Serrano 115 dpdo 2008 Madrid-España.

<http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a13.pdf>

Lizandro Omar, Silva Holgado (2017) “Determinación de los agentes de Biodeterioro en el Monumento Pétreo del templo de San Pedro, Centro Histórico del Cusco” Tesis de Grado (UNSAAC Cusco)

<http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/3188>

Lorenzo Mora Francisca, Begoña Carrascosa Molinier 2019 “Influencia de los aditivos orgánicos en la resistencia a la cristalización de las sales en morteros tradicionales de cal con distinto arido. Análisis de caso Sitio arqueológico La Blanca Guatemala Devenir - Revista de estudios sobre patrimonio edificado6(12):11-26,

DOI:[10.21754/devenir.v6i12.741](https://doi.org/10.21754/devenir.v6i12.741)

Magnin, Lucia Angélica¹, Linch, Virginia² Y Gracia, Renato³ (2017).

“Avances en el Estudio de Biodeterioro asociado a presencia de Líquenes en Materiales

Arqueológicos líticos”. La primavera (Santa Cruz, Argentina).

<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/BSAB/article/view/18022>.

Nuhoglu 2006 “Enfoque químico del deterioro lítico” pdf www.scielo.org.com

Okamoto T.1997, Los Líquenes <http://www.is.koch/lichens/lichen-f-1.html>,

Prieto B. (1995). En su estudio. “Ramírez Ángel. Cano Asunción (2005). En su estudio “Liquenobiota de la localidad de Pueblo Libre (Huaylas, Ancash, Perú”.

(northwest Spain), Volume 167, Issues 1–3, 1 May 1995, Pages 343-351. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004896979504594Q> ,

Santos Ruiz (1958-1959). “El Fenómeno de Quelación en la Bioquímica de los Oligoelemento”.

<https://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/1399/1435>

Sipman, H Botanic Garden&Botanic Museum (1999)

(<http://www.is.koch-u.ac.jp/Bio/lichens/lichen-f-1.html>)

Sipman H.” Lichen Determination Keys”. Botanic Garden & Botanic Museum.

<http://www.bgbm.fu-Berlin/Sipman+H/keys/neokeyE.htm.1998>)

Vargas Febres Carlos, Achahui Álvarez Aris, Rodríguez Salas Danna (2021)

“Patologías mecánicas en elementos líticos de las iglesias Patrimoniales en la Plaza

Mayor de Cusco Universidad Andina del Cusco (Perú: estudios ISSN 2312-7562 e-

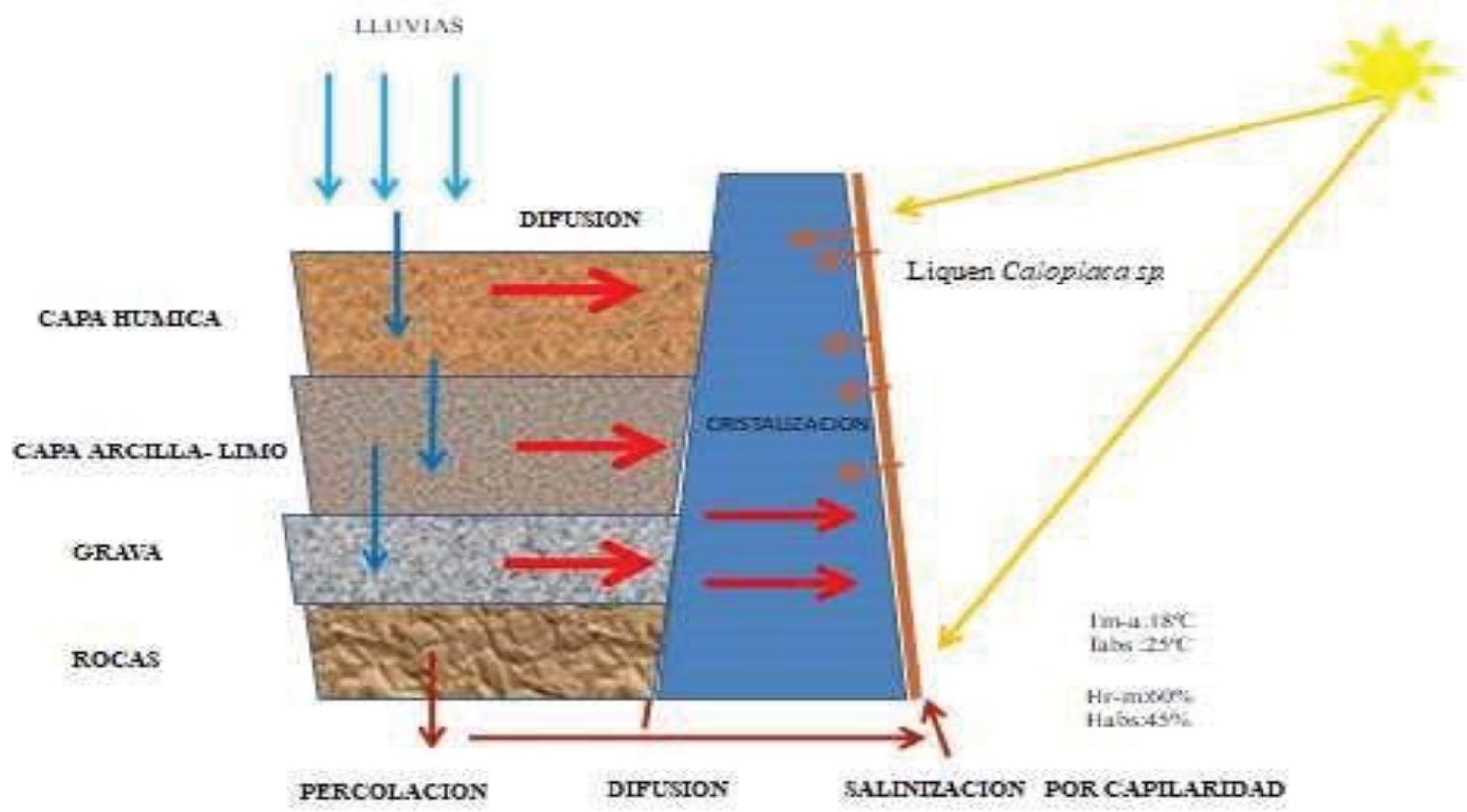
ISSN 2616-4949 doi: <https://doi.org/10.21754/devenir.v8i16.84>

ANEXOS

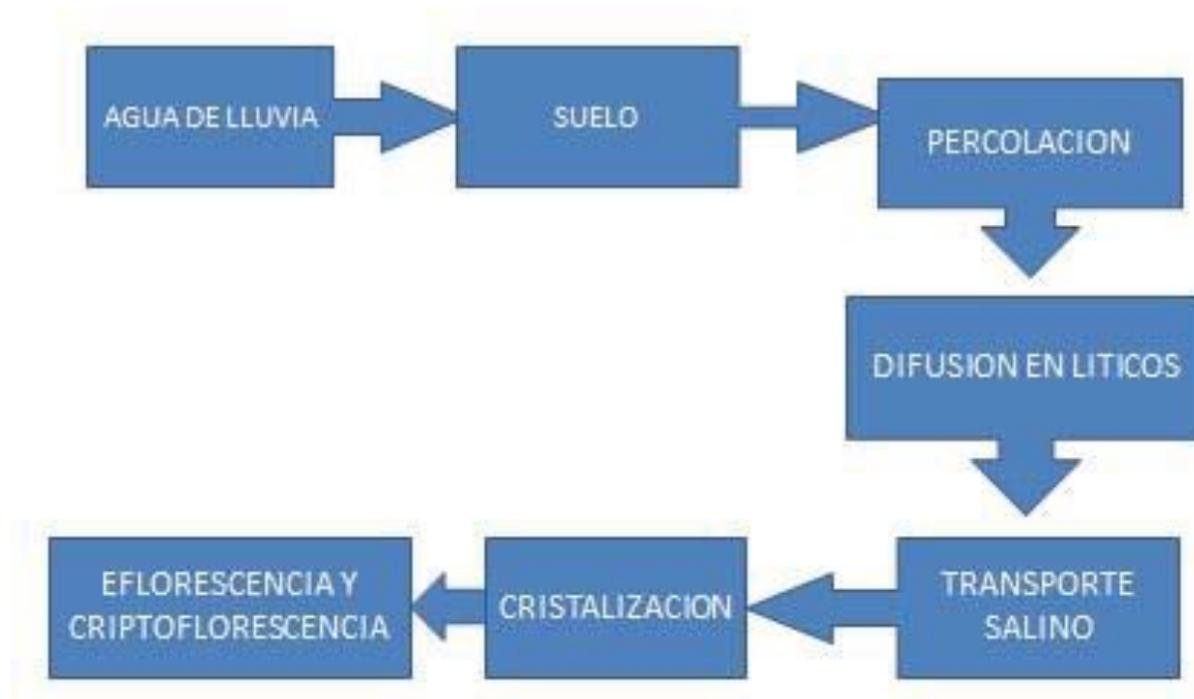
Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL.	HIPÓTESIS GENERAL	V. INDEPENDIENTES	METODO
¿De qué manera la formulación del Método Bioquímico contribuirá en la mitigación de los procesos de: Patología lítica y Biocorrosión, producidos por la infestación del líquen Caloplaca sp., caso: ¿Sitio Arqueológico de Tarawasi Limatambo- Periodo 1998-2018?	Formular el Método Bioquímico para mitigar los procesos de: Patología lítica y Biocorrosión, producidos por la infestación del líquen Caloplaca sp. Caso: Sitio Arqueológico de Tarawasi Limatambo- Periodo 1999-2018.	La formulación del Método Bioquímico contribuye a mitigar los procesos de: Patología lítica y Biocorrosión de los efectos producidos por el líquen Caloplaca sp., caso: Sitio Arqueológico de Tarawasi- Limatambo Periodo 1999-2018	Método Bioquímico	Tipo: Explicativo ,cuasi experimental
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS.-	V. DEPENDIENTE	
¿En qué forma el diagnóstico de las causas del proceso de: Patología lítica y Biocorrosión, permitirán describir los efectos producidos por la infestación del líquen Caloplaca sp., en el S.A Tarawasi?	Diagnosticar las causas del proceso de: Patología lítica y Biocorrosión, que permitan describir los efectos producidos por la infestación del líquen Caloplaca sp., en el Sitio Arqueológico de Tarawasi.	Los resultados del diagnóstico permite describir las causas de: patología lítica y Biocorrosión de los efectos producidos por la infestación del líquen Caloplaca sp., en el S.A Tarawasi	DIAGNÓSTICO Causas Patología lítica Biocorrosión	Descriptivo No experimental
¿De qué manera la aplicación del método bioquímico en el tratamiento de conservación permite restablecer las condiciones de equilibrio de los paramentos del sitio arqueológico de Tarawasi?	Restablecer las condiciones de equilibrio mediante la aplicación del método bioquímico en el tratamiento de conservación del sitio arqueológico de Tarawasi.	La aplicación del método bioquímico en el tratamiento de conservación restablece las condiciones de equilibrio de los paramentos del sitio arqueológico de Tarawasi.	TRATAMIENTO Restablece las condiciones de equilibrio del sistema	Aplicativo y descriptivo
En qué medida la evaluación de los resultados de la aplicación del método Bioquímico contribuirá en la mitigación del proceso de patología lítica y Biocorrosión, producido por la Caloplaca sp., después del proceso de conservación, Caso: S.A Tarawasi	Evaluar los resultados de la aplicación del Método Bioquímico en la mitigación del proceso de Patología lítica y Biocorrosión, producido por la Caloplaca sp., después del proceso de conservación, Caso: Sitio arqueológico de Tarawasi	La evaluación de los resultados de la aplicación del método Bioquímico contribuye a mitigar el proceso de patología lítica y Biocorrosión producidos por la Caloplaca sp., después del proceso de conservación, Caso: Sitio Arqueológico de Tarawasi	EVALUACIÓN Efectos: Mitigación Proceso de conservación	Evaluativo
¿De qué manera el monitoreo y mantenimiento contribuirá a evitar el repoblamiento de la Caloplaca sp., luego de los tratamientos preventivos de conservación; Caso S: A. Tarawasi efectuados desde el año 1998 al 2018?	Monitorear permanentemente a fin de evitar el repoblamiento del líquen Caloplaca sp., a través de acciones de mantenimiento y conservación preventiva; Caso: Sitio arqueológico de Tarawasi	El monitoreo y mantenimiento contribuye a evitar el repoblamiento de la Caloplaca sp., luego de los tratamientos preventivos de conservación; Caso S: A. Tarawasi efectuados desde el año 1998 al 2018	MONITOREO Mantenimiento Conservación preventiva	Preventivo

Anexo 2.1. Agentes de degradación lítica en el sitio arqueológico de Tarawasi



Anexo 2.2. Fundamentos fisicoquímicos del proceso de salinización lítica



Anexo 3: Registros fotográficos de los procesos y temporalidades 1999,2015, 2018

Anexo 3.1. Sectorización: Estado Inicial; Sector 1 A S.A. Tarawasi 1998

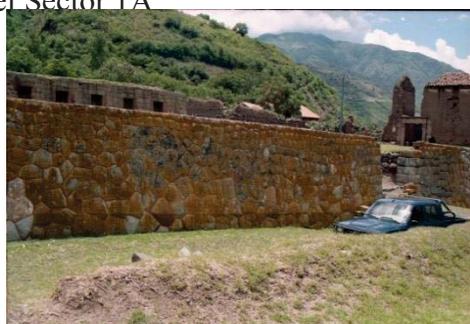


Anexo 3.2: Selección de los Subsectores Del Sector 1 A: Repoblamiento 2015



Anexo

3.3 Registros fotográficos del Sector 1A



Anexo 3.4. Sectorización: Estado Inicial; Sector 2 A Sitio arqueológico de Tarawasi 1998



Fuente: © Foto:1998

Anexo 3.5. Termografía de del estado inicial del sector 2A, Sitio Arqueológico del sector 2 .A Tarawasi 1998

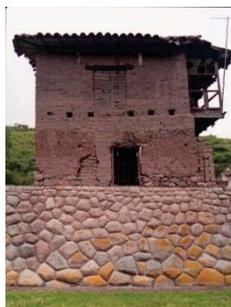


Fuente: © Foto:1998

Anexo 3.6. Miscelánea de colonización en el año1999 y recolonización en el año 2015 en el Sitio Arqueológico de Tarawasi



© Foto: 1998



© Foto: 1998



© Foto: 1998



Fuente: © Foto.2015

Anexo 3.7. Miscelánea del estado actual el sector 2, A 2018



© Foto 2018



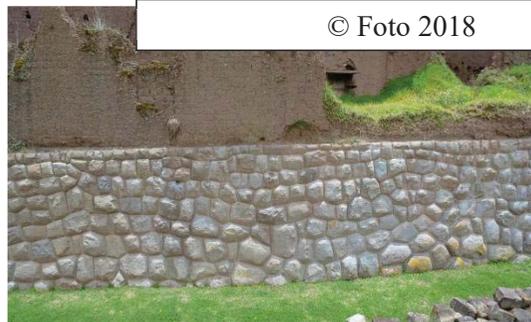
© Foto 2018



© Foto,2018



© Foto 2018



© Foto 2018



© Foto,2018

Anexo 4: Fichas de recolección de datos

Anexo 4.1. Variables y unidades para la recolección de datos de campo

Característica	Unidad de Medida
pH	Valores: Interface piedra- liquen, talo liquénico, sustancias liquénico, Ácidos liquénico
Humedad	%
Densidad	Gr/cc ³
Porosidad	%
Color	Tabla Munsell
Dureza Superficial	Escala de Mohs
Absorción de agua	%
Expansión térmica	°C/ cm ²
Conductividad Eléctrica	Micro siemens/cm
Total de Sólidos Disueltos	mgr. /lt.
Permeabilidad al agua	ml/cc
Concentración salina superficial	ppm
Ácidos liquénico	Reacciones de Micro cristalización
Identificación de Ácidos liquénicos	Microscopia de polarización y fases
Fluorescencia de rayos X	Concentración en ppm

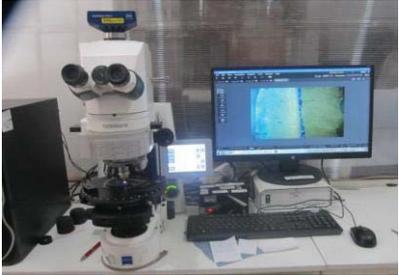
Anexo 4.2. Ficha de campo para la colecta de muestras líticas por sectores

Datos generales					
Ubicación					
Departamento	Cusco				
Provincia	Anta				
Distrito	Limatambo				
Zona/ Sitio Arqueológico	Tarawasi				
Nombre del proyecto: Diagnostico Del estado de conservacion del sitio Arqueologico de Tarawasi 1999					
Responsable del muestreo: Abelino Cunza					
Tipo de muestra	Litico	Tierra	Sales	Liquen	
Cantidad	10				
Ubicación de extracción de muestras					
Sector	Sub sector	N Muestras	Tipo de muestra	Decha de Extraccon	Analisis requerido
1A	s3	2	Cantera	12/02/1999	Petrografico mineralogico
	s6	1	Erosionadas	12/02/1999	Petrografico mineralogico salinizacion
	s9	2	Colonizadas	12/02/1999	Microscopico Estratigrafico y quimico multielemental
2A	S16	2	Cantera	12/02/1999	Petrografico mineralogico
	S19	1	Erosionadas	12/02/1999	Petrografico mineralogico salinizacion
	S21	2	Colonizadas	12/02/1999	Microscopico Estratigrafico y quimico multielemental
Envase Bolsas de papel y polietileno					
RESPONSABLE DE CAMPO					
Nombre y Apellidos			Firma		
Fecha de recepcion: Cusco, Mes año					

Anexo 4.3. Ficha de campo para la colecta de muestras terreas y suelos

FICHA DE CAMPO PARA COLECTA DE MUESTRAS					
Datos generales					
Ubicación					
Departamento	Cusco				
Provincia	Anta				
Distrito	Limatambo				
Zona/ Sitio Arqueologico	Tarawasi				
Nombre del proyecto: Diagnostico Del estado de conservacion del sitio Arqueologico de Tarawasi 1999					
Responsable del muestreo: Abelino Cunza					
Tipo de muestra	Litico	Tierra	Sales	Liquen	
Cantidad	6				
Ubicación de e xtraccion de muestras					
Sector	Sub sector	N Muestras	Tipo de muestra	Decha de Extraccon	Analisis requerido
1A	s3	1	suelo	12/02/1999	Edadologico
	s6	1	suelo	12/02/1999	Quimico
	s9	1	suelo	12/02/1999	Salinidad
2A	S16	1	suelo	12/02/1999	Edadologico
	S19	1	suelo	12/02/1999	Quimico
	S21	1	suelo	12/02/1999	Salinidad
Envase					
Bolsas de papel y polietileno					
RESPONSABLE DE CAMPO					
Nombre y Apellidos			Firma		
Fecha de recepcion: Cusco, Mes año					

Anexo 5. Instrumental y equipo utilizado para etapa de diagnóstico

INSTRUMENTOS DE MEDICION		
1		Técnicas de fotogrametría área inglesa (fotografía vertical) y americana (fotografía inclinada), realizados con el <i>Drone Phantom 2</i> , equipado con la cámara, visión plus de DJI, monitoreados por conectividad <i>wi-fi</i> con el celular Samsung Galaxy S4
2		Microscopio de polarización <i>Axio Imger z2M</i> con objetivo de 10x y 20X, 40X en inmersión en glicerina, reflector DIC en un tiempo de exposición de 229,75 ms y una escala de 340,000 nm x 340,000 nm, peso de la figura 28.87 MB, formato de imagen 36 luz reflejada y polarizada con filtros de luz ultravioleta.
3		Microscopio binocular con iluminación LED. Cabezal Binocular Inclinado a 30° y Giratorio de 360°, Enfoque Macro y Micro Separados. Par de Piezas oculares WF 10x/18mm de campo ancho. Objetivos: DIN acromáticos: 4x/0.10, 10x/0.25, 40x/0.65 (Resorte), 100x/1.25 (Resorte, aceite)
4		Microscopio de barrido electrónico (MEB) en áreas de barrido de 10. mm, amplificaciones de 100X hasta 4000X a 30 KV, Detector LFD, escalas de 2 mm, equipo MEB; Quanta 200MyAP/ Perú servicio solicitado a la empresa M y P de propiedad de Dra. Gladys Ocharán.
5		Equipo portátil de fluorescencia de rayos X <i>Thermo Scientific Niton XL3t Gold</i> , con generación de rayos X por ánodo de plata a 50 Kv y 200 μ a, con calibración de fábrica, detector Goldd (<i>geometrically optimised large area silicon drift detector</i>), cuatro filtros fijos de intercambio (<i>high filter, main filter, low filter y light filter</i>),