

DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIONES DE MITIGACIÓN DE PATOLOGÍAS EN LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE LOS ACUEDUCTOS EN NORTE DE SANTANDER

DIAGNOSIS AND MITIGATION RECOMMENDATIONS OF PATHOLOGIES IN THE HYDRAULIC STRUCTURES OF WATER SUPPLY SYSTEMS IN NORTE DE SANTANDER

**BONILLA GRANADOS, C. A.¹; CELY CALIXTO. N. J.²;
BONILLA GRANADOS, S. A.³**

¹Msc. Carlos Alexis Bonilla Granados.

*Programa de Ingeniería civil, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, e-mail: carlos.bonilla@unipamplona.edu.co,
orcid.org/0000-0002-4558-4615*

²Nelson Javier Cely Calixto.

*Programa de Ingeniería civil, Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander, e-mail: nelsonjaviercc@ufps.edu.co,
orcid.org/0000-0002-2083-6978*

³Ing. Sergio Andrés Bonilla Granados.

*Programa de Ingeniería de Minas, Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander, e-mail: sergioandresbg@ufps.edu.co,
<https://orcid.org/0000-0003-1558-2042>*

Universidad de Pamplona

Km. 1 vía a Bucaramanga, Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel: (57+7) 5685303 - 5685304

E-mail: carlos.bonilla@unipamplona.edu.co

Recibido: 03/03/2022 / Aceptado: 28/06/2022

Resumen

Los sistemas de acueductos se componen de una amplia variedad de estructuras hidráulicas que, debido a su exposición a las inclemencias del tiempo y su inevitable deterioro, pueden generar problemas significativos y requerir extensos periodos de reparación. En este contexto, el presente trabajo se centró en la identificación de patologías de las estructuras hidráulicas de los sistemas de acueducto en Norte de Santander mediante una inspección visual. Los resultados revelaron la presencia de diversas patologías en diferentes Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP): 22 en la PTAP de Ocaña, 29 en la PTAP El Pórtico de Cúcuta, 31 en la PTAP Carmen de Tonchalá de Cúcuta, 37 en la PTAP de Durania y 58 en la PTAP de Chinácota. Entre las patologías frecuentemente identificadas se encuentran filtración, grietas, humedad, sustancias orgánicas, corrosión metálica, hormigueros, variación de color, disgregación y desprendimiento de pañetes. El análisis resaltó que las estructuras hidráulicas más propensas a sufrir patologías fueron los sedimentadores y floculadores, con 39 y 35 incidencias respectivamente, revelando la mayor concentración de lesiones en estos

elementos específicos. En respuesta a estos hallazgos, se desarrolló una propuesta que emplea procesos constructivos para mitigar los daños, abordando de manera efectiva las patologías presentes en las estructuras. Además, se presentan recomendaciones de mantenimiento destinadas a prevenir y reparar las patologías más recurrentes, con el objetivo de optimizar la eficiencia y prolongar la vida útil de los sistemas de acueductos en la región.

Palabras Claves: Estructuras hidráulicas, filtración, patología, sistemas de acueducto, lesión

Abstract

Water supply systems are composed of a wide variety of hydraulic structures that, due to their exposure to the elements and their inevitable deterioration, can generate significant problems and require extensive periods of repair. In this context, the present research focused on the identification of pathologies through a visual inspection of the hydraulic structures in the water supply systems in Norte de Santander. The results revealed the presence of various pathologies in different Drinking Water Treatment Plants (DWTP): 22 in the DWTP of Ocaña, 29 in the DWTP El Pórtico de Cúcuta, 31 in the DWTP Carmen de Tonchalá de Cúcuta, 37 in the DWTP of Durania, and 58 in the DWTP of Chinácota. Among the ten most common identified pathologies are filtration, cracks, humidity, organic substances, metallic corrosion, ant nests, color variation, disintegration, and pipe detachment. The analysis highlighted those hydraulic structures most prone to pathologies were sedimentation tanks and flocculators, with 39 and 35 incidences respectively, revealing the highest concentration of lesions in these specific elements. In response to these findings, a proposal was developed that employs construction processes to mitigate damages, effectively addressing the lesions or diseases present in the structures. Additionally, maintenance guidelines are presented to prevent and repair the most recurrent pathologies, with the aim of optimizing efficiency and extending the lifespan of water supply systems in the region.

Keywords: Hydraulic structures, filtration, pathology, water supply systems, injury.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural presente en lagos, ríos, humedales, cañadas, etc., de importancia esencial para todos los seres vivos. Por tal motivo, en la antigüedad, el ser humano situaba sus asentamientos en zonas cercanas a dichos afluentes con el fin de contar con un fácil acceso a este recurso. Sin embargo, debido al crecimiento poblacional dado de manera exponencial y la migración de las poblaciones, encontrar una fuente superficial cercana de la cual se pudiese extraer el recurso se volvió cada vez más difícil. Esto generó la necesidad de desarrollar sistemas que le permitieran trasladar el agua de lugares lejanos hasta sus comunidades (Tarazona et al., 2021),

garantizando así la disponibilidad del recurso en todo momento y asegurando que este contase con la calidad necesaria para suplir las necesidades básicas de las poblaciones.

La implementación de sistemas de acueductos en zonas urbanas y rurales eventualmente se convirtió en la forma indicada no solo de transportar el agua hacia las poblaciones (Álvarez, 2013), sino también de darle un tratamiento adecuado. Esto con el fin de mejorar su calidad mediante procesos físicos, químicos o biológicos realizados en las plantas de tratamiento, con un conjunto de estructuras hidráulicas diseñadas en serie, las cuales deben cumplir con unos parámetros establecidos para su buen

funcionamiento. Estas estructuras pueden verse afectadas por factores como las condiciones del tiempo y una baja frecuencia de mantenimiento, que, sumado al paso de los años, son los principales causantes de su deterioro (Zapata, 2018; Ortega *et al.*, 2020).

Este trabajo busca presentar las patologías más comunes en los sistemas de acueducto, sus causas y proponer recomendaciones preventivas para mitigar los efectos generados, a partir de la teoría subyacente estudiada para la investigación. Se realizó la evaluación de las patologías en las instalaciones hidráulicas de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) ubicadas en cuatro de los municipios de Norte de Santander (Durania, Chinácota, Ocaña, y Cúcuta). Las patologías encontradas fueron filtración, grietas, humedad, sustancias orgánicas, corrosión metálica, hormigueros, variación de color, disgregación y desprendimiento de pañetes.

1.1 Patologías del concreto reforzado

Es importante resaltar que la mayoría de las estructuras hidráulicas de cada uno de los sistemas de acueducto analizados, están construidas en concreto reforzado, razón principal que las patologías descritas se enfocan en las lesiones características del concreto reforzado.

Las estructuras de concreto pueden experimentar lesiones o patologías que provocan alteraciones en su comportamiento mecánico y/o estructura interna, las cuales pueden manifestarse desde el inicio, producirse durante alguna etapa de su vida útil. Las patologías

pueden manifestarse de forma visual en pérdidas de masa, cambios de color, hinchamientos, manchas, fisuras u otros. Algunas de estas patologías son bastante comunes, debido a los distintos agentes a los que se ve sometida una estructura. Existe patologías difíciles de controlar, por ejemplo, la aparición de hongos, el envejecimiento del concreto, la contaminación del entorno, la acción de los rayos UV en la pasta de cemento etc., siendo estos agentes, la puerta de entrada para la mayoría de las patologías mencionadas anteriormente (Placencia, 2016; Niño Rondón *et al.*, 2021).

Las patologías del concreto son clasificadas, dependiendo de su origen principal, como físicas, químicas, mecánicas o biológicas. Las físicas son originadas a partir de las alteraciones de este mismo tipo que una estructura puede experimentar, como los cambios de temperatura y humedad que traen consigo variaciones volumétricas en el concreto, causando fisuras o agrietamientos que afectan propiedades como la masa, el peso unitario, la porosidad, entre otras y la calidad de la estructura, viéndose vulnerada la resistencia mecánica del elemento (Figuroa & Palacio. 2008; Rua *et al.*, 2018; Castellanos *et al.*, 2020).

Se identifican diversas lesiones que afectan la calidad del concreto. Entre estas se encuentran **burbujas**, provocadas por la retención de agua y aire entre la superficie de la formaleta y el concreto. **Descascaramientos** resultantes de la adherencia del concreto a la formaleta. Fugas de lechada causadas por un exceso de agua. Fisuras que se desarrollan debido a esfuerzos en el concreto, ya sea por cargas aplicadas al

material o un diseño deficiente, impactando tanto en la apariencia como en la seguridad estructural. Los **hormigueros**, evidenciados por vacíos irregulares en la superficie del concreto y la exposición del agregado grueso, resultado de la incapacidad del mortero en la mezcla para cubrir totalmente el espacio alrededor de los agregados. La erosión superficial que conduce al **lavado de la pasta superficial de cemento** ocurre en losas de cimentación y muros debido al flujo de agua en las estructuras. En estructuras hidráulicas, la combinación de flujos rápidos y lentos de agua puede provocar la exposición del agregado y, en situaciones extremas, la eliminación total del recubrimiento del concreto. Las **líneas entre capas (juntas frías)**, señalan la transición entre diferentes momentos de colado, incluso en un mismo vaciado. La rebaba se presenta en espacios y uniones de formaletas cuando parte del mortero en la mezcla logra atravesarlas. La apariencia moteada en la superficie, creada por la **transparencia de los agregados**, resulta de deficiencias en el mortero, donde el agregado se encuentra cubierto por una fina película de lechada que posibilita su visibilidad a través de la superficie. La **variación del color** es resultado de deficiencias en la mezcla y se manifiesta en forma de oxidación, ensuciamiento, humedad, manchas, contaminación o eflorescencias, entre otras patologías (Murillo, 2014; Mahecha *et al.*, 2020).

Las patologías de origen químico se presentan por el contacto de distintos agentes químicos con el concreto endurecido, causando una reacción agresiva entre estos dos elementos, provocando la pérdida de alcalinidad del cemento y reduciendo con esto su

capacidad para proteger el acero de refuerzo de la corrosión, generando deficiencias en la estructura (Mogollón, 2016; Terrero *et al.*, 2020). Este tipo de lesiones pueden presentarse ya sea a largo plazo como inmediatamente al contacto, dependiendo de factores como el tiempo de exposición, la concentración de la solución, la velocidad de esparcimiento de este y nuevamente, condiciones naturales como la temperatura y la presión existente en el ambiente (Guerrero *et al.*, 2021).

Entre las patologías de origen químico más comunes, destaca la **afectación por sulfatos**, que se produce por contacto entre la estructura y agua con elevadas concentraciones de sulfatos de potasio, magnesio, calcio y/o sodio. Estas soluciones penetran en la estructura, generando considerables esfuerzos de expansión que eventualmente desencadenan la desagregación del concreto. La **corrosión por expansión**, como consecuencia del ataque de ciertas sales, provoca fisuras a medida que su crecimiento ejerce una acción expansiva en el material. Otra patología es la **corrosión por lixiviación**, originada por las aguas poco carbonatadas o aquellas con contenido ácido. Su poder disolvente y las altas velocidades del agua desencadenan este proceso corrosivo (Ortíz, 2016). La **corrosión metálica**, causada por diversos agentes externos que provocan la oxidación del acero, inicia la aparición de herrumbre. Este proceso avanzado genera tensiones en el concreto alrededor de las varillas de acero, inicialmente causando la pérdida de adherencia entre el acero y concreto, para finalmente ocasionar la fragmentación del concreto, reduciendo así la resistencia

integral de la estructura. Otro fenómeno es la **corrosión por la reacción del cambio iónico**, que surge de interacciones agresivas las sustancias que se encuentran en el agua y los elementos de la pasta endurecida de cemento. Estas reacciones forman combinaciones fácilmente solubles que ingresan dentro de los poros del material, sin que puedan aglomerarse (Crespo, 2015; Trujillo *et al.*, 2019).

Otras patologías de origen químico son la **disgregación** a causa de procesos de carbonatación y la acción de sulfatos manifestada por señales de corrosión superficial del concreto o pudrición. La disgregación conduce a la descomposición de las capas exteriores debido a la erosión o a la pérdida de cantidades específicas de la pasta de cemento en forma de polvo. Esto provoca la formación de oquedades, rugosidades superficiales y porosidad que facilitan la penetración de agentes dañinos, que culminan en problemas más severos para el material (Crespo, 2015). Las **eflorescencias** pueden manifestarse en la superficie del concreto efecto capilar del agua que migra hacia el exterior del material (Barrios, 2010; Flórez *et al.*, 2019). Este fenómeno está intrínsecamente vinculado a la relación agua/cemento, la naturaleza del agua de exudado, la velocidad de evaporación y las condiciones pluviométricas locales (Gómez y Santiago, 2018).

Las patologías de origen mecánico se vinculan con la formación **planos de falla**, **microfisuras** y **fisuras**, derivadas de fenómenos como la deformación lenta (fluencia), deformaciones impuestas y sobrecargas (Díaz, 2014; Mora *et al.*, 2018). Además, el rozamiento, percusión,

las vibraciones excesivas, raspado, la abrasión generada por erosión, frotamiento o cavitación también contribuyen a estas patologías. Los riesgos asociados con la figuración y agrietamiento del concreto pueden tener implicaciones tanto estéticas como de durabilidad (Marín, 2017; Montalvo *et al.*, 2018; Bonilla *et al.*, 2021).

Las lesiones de tipo biológico están dadas por la aparición de organismos y microorganismos de origen tanto animal, como vegetal en la superficie de la estructura, lo cual afecta tanto la estética del elemento como su comportamiento, ya que produce daños a nivel físico, mecánico, químico y biológico, además de acelerar el proceso de carbonatación de la estructura. Estos organismos retienen y generan humedad y grietas debido al crecimiento de raíces dentro de los poros del concreto; para que este tipo de patologías pueda presentarse, el ambiente debe contar con una alta presencia de agua, humedad y nutrientes que favorezcan su proliferación. Un ejemplo de este tipo de patologías es la aparición de musgos, mohos, vegetación y/o sustancias orgánicas que afectan el aspecto del concreto y mantienen la humedad en la superficie, lo cual promueve el deterioro de esta.

2. METODOLOGÍA

Con el fin expandir el conocimiento en cuanto a las patologías presentadas en estructuras hidráulicas, se realizó una investigación de tipo descriptiva y cualitativa, la cual implicó la búsqueda, recolección y análisis de fuentes secundarias existentes con información relacionada al tema de interés. Sumado a

esto, se realizó una investigación basada principalmente en la observación, donde se estudiaron las plantas de tratamiento ubicadas en los municipios de Durania, Chinácota, Ocaña, y Cúcuta, pertenecientes al departamento de Norte de Santander.

La metodología empleada se basó en visitas técnicas y la observación de las estructuras hidráulicas de cada sistema de acueducto, realizando inventarios de información o fichas de análisis y

diagnóstico del estado de cada elemento, que permitieran identificar la evaluación de diferentes patologías e información sobre las lesiones encontradas. A partir de las patologías más frecuentes encontradas en las plantas de tratamiento de Norte de Santander, se proponen soluciones y recomendaciones para mitigar los efectos causados, teniendo como base el conocimiento adquirido a partir de la bibliografía existente y estudiada para la investigación. La Figura 1, describe la metodología descrita de forma general.

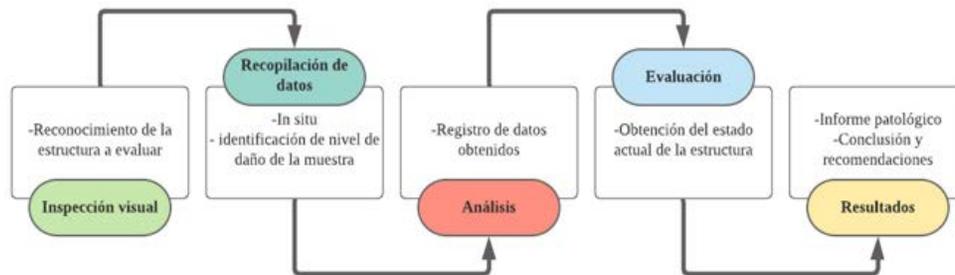


Figura 1. Fases implementadas para la investigación del proyecto. Fuente: (Zapata, 2018).

La recolección de la información sobre cada estructura hidráulica estudiada se realizó mediante una ficha técnica fichas de análisis y diagnóstico, en la que se registran las lesiones y patologías observadas en cada elemento hidráulico, realizando una descripción corta de las características de cada lesión encontrada y sus posibles causas. La ficha técnica está dividida en cuatro secciones, la primera registra los datos de la información institucional y la numeración del formato.

La segunda sección, en el margen izquierdo, recopila la información de la estructura y sus materiales, los elementos afectados y la descripción de cada lesión. La tercera, al margen derecho, permite registrar datos correspondientes a la fecha de estudio, el tipo de lesión, la severidad

del daño, condiciones climáticas y meteorológicas de la zona de estudio, la tipología de la enfermedad y la causa de esta. Finalmente, en la parte inferior de la ficha se muestra las evidencias fotográficas registradas durante la inspección de campo, donde se observan las afectaciones mencionadas en cada ficha, además de la referencia y la fecha de toma de dichas fotografías. En la Figura 2 se puede observar una de las fichas técnicas empleadas en la investigación.

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La inspección a los sistemas de acueducto se realizó a las plantas de tratamiento que operan las empresas de servicios públicos y cada PTAP se denomina de la siguiente

manera: En Chinácota PTAP EMCHINAC (Empresas Municipales de Chinácota), en Durania PTAP DURANIA, en Ocaña PTAP ADAMIUAIN (Asociación De Amigos Usuarios del Acueducto Independiente) y en Cúcuta se inspeccionaron los dos sistemas de acueducto que abastecen la ciudad, PTAP EL PÓRTICO (Ubicada en el Corregimiento El Pórtico), PTAP

CARMEN DE TONCHALÁ (Ubicada en el Corregimiento Carmen de Tonchalá y también se inspeccionaron de manera independiente los tanques de almacenamiento de agua potable de la ciudad, ubicados en la zona urbana, para efectos de resultados se denominarán TANQUES CÚCUTA.

CLASIFICACION E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES

FICHA N° 25

REALIZA EL ESTUDIO: CARLOS BONILLA - NELSON CELY - SERGIO BONILLA		FECHA ESTUDIO	10/09/2019	
INFORMACION DE LA ESTRUCTURA		LESION	FISICA- MECANICA	
NOMBRE: PLANTA DE ACUEDUCTO CHINACOTA		SEVERIDAD		
LOCALIZACION: CHINACOTA		ALTA	MEDIA	BAJA
ESTRUCTURA HIDRÁULICA: FILTRO 3			X	
MATERIAL AFECTADO: CONCRETO REFORZADO		TEMPERATURA	16 - 25°C	PRECIPITACION
		HUMEDAD RELATIVA	77%	23mm - 112mm
ELEMENTO AFECTADO		TIPOLOGIA DE LA LESION		
	MATERIAL	SUST.ORGANICAS	X	FISURA
CIMENTACION	CONCRETO REFORZADO	VARIACION COLOR	X	DESPRENDIMIENTO
COLUMNAS	LADRILLO	PATOLOGIA FISICA	X	PATOLOGIA MECANICA
VIGAS	ACERO	PASTA SUPERFICIAL		EFLORESCENCIA
MUROS	X MORTERO (PAÑETE Y ACABADOS)			PATOLOGIA QUIMICA
TANQUES	X PINTURA EN VINILO			CORROSION
PISOS	X MANTO ASFALTICO			HORMIGUERO
OTRO:	LAMINA FIBROCEMENTO Y CERCHAS			OTRO
DESCRIPCION DEL ELEMENTO AFECTADO		POSIBLE CAUSA DE LA LESION		
AFECTACION POR DETERIORO EN FILTROS PTAP CHINACOTA		FALTA DE MANTENIMIENTO PERIODICO		
FOTOGRAFIA DEL ELEMENTO AFECTADO		LOCALIZACION DE ELEMENTOS AFECTADOS		
				
FOTOGRAFIA AMPLIADA DE LA LESION		DESCRIPCION DE LAS PATOLOGIAS ENCONTRADAS		
		En esta estructura se evidenciaron las siguientes lesiones o patologías: fisuras, sustancias orgánicas (musgo o moho), variación del color y corrosión metálica en las escaleras.		
REFERENCIA	OPERARIOS PTAP CHINACOTA			
FECHA DE TOMA	10/09/2019			

Figura 2. Ficha técnica implementada. Fuente: Autores.

Se desarrolló inspección visual y se realizaron registros fotográficos de las estructuras que componen las plantas de

tratamiento de cada municipio y también casos se recopiló documentación pertinente a la operatividad de cada

sistema; la información obtenida por medio de la observación y análisis fue tomada como base para la determinación de las patologías más frecuentes en las plantas de tratamiento estudiadas, sus posibles causas y los materiales afectados en dichas estructuras.

En la Figura 3 Se puede observar el número de estructuras hidráulicas analizadas en cada planta de tratamiento y el número de tanques de almacenamiento inspeccionados en Cúcuta, se observa que la planta de tratamiento con mayor cantidad de estructuras analizadas fue la PTAP

EMCHINAC, en esta PTAP se pudo analizar la estructura de la bocatoma, los desarenadores y todos los elementos hidráulicos de la planta de tratamiento.

El registro total de las lesiones encontradas en cada uno de los sistemas de acueducto analizados, se pueden apreciar en la Figura 4, donde se observa que la PTAP con mayor cantidad de patologías encontradas fue la planta de tratamiento EMCHINAC, con un total de 58 patologías y la que menor cantidad de lesiones presentó fue la PTAP ADAMIUAIN, con un total de 22 patologías.

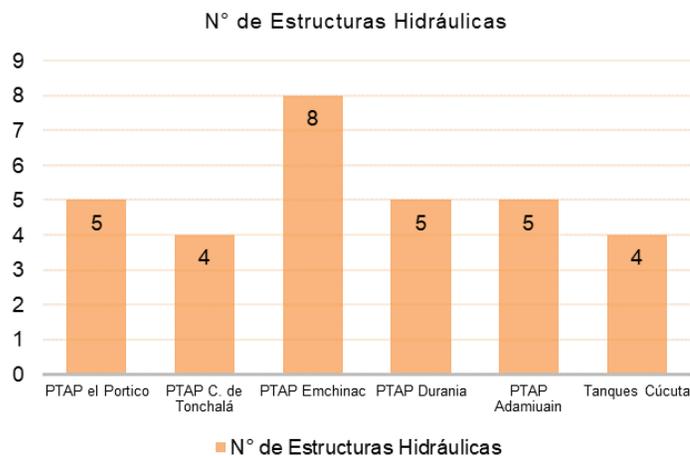


Figura 3. Gráfica general del número de estructuras hidráulicas analizadas en cada sistema de acueducto. Fuente: Autores. Fuente: Autores

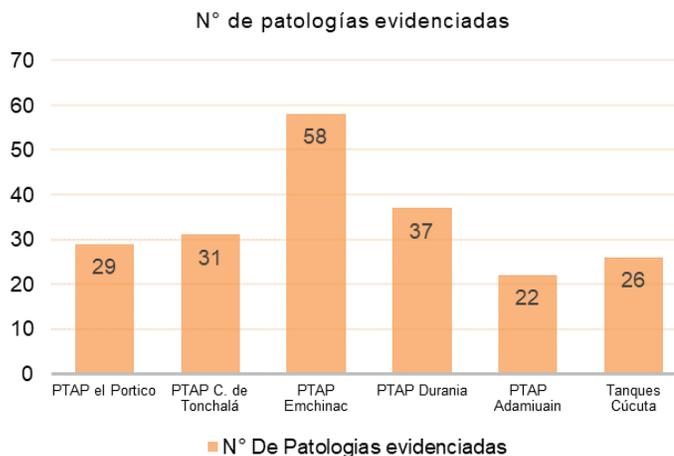


Figura 4. Gráfica general de patologías encontradas en cada sistema de acueducto. Fuente: Autores.

Fuente: Autores

Teniendo como base la recopilación de los datos encontrados, se observó el número de patologías encontradas en cada uno de los elementos estudiados, siendo notorio que los más afectados según la investigación realizada, fueron los sedimentadores, con 39 lesiones y los floculadores con 35; además se estableció una clasificación sobre los diferentes tipos de patologías encontradas en cada estructura, definiendo previamente las características que describe cada tipo de lesión, implementando en cada estructura las fichas técnicas para la clasificación e identificación de lesiones, registrando las patologías encontradas en cada estructura y las características específicas de cada una.

Los elementos hidráulicos que conforman las plantas de tratamiento y los tanques de almacenamiento analizados exhiben diversas patologías asociadas al deterioro del concreto debido a agentes externos. Estas patologías, derivadas tanto de la fase de fabricación y ejecución como de la influencia del entorno, así como de posibles defectos y desgaste del acero, abarcan aspectos químicos, mecánicos y físicos (Pimiento & Cárdenas, 2020). Estos fenómenos patológicos provocan un deterioro acelerado en el concreto, manifestándose a través de la corrosión, desagregación del material, eflorescencias, manchas de óxido, manchas de humedad, moho, fisuras y grietas en el concreto y/o corrosión inducida por lixiviación (García et al., 2018).

En la Tabla 1 se observan las patologías encontradas y la cantidad total de

patologías en todos los sistemas. Las seis patologías más frecuentes son la presencia de Sustancias Orgánicas, seguida de la Variación de Color, las Fisuras, las Eflorescencias, el Desprendimiento y la Corrosión, estas patologías se encontraron en más de 20 puntos diferentes de las estructuras. De manera opuesta las patologías menos frecuentes fueron la Socavación, Vegetación, Empuje de tierra, Fuga de lechada y Lavado de pasta cada una de ellas se observó una sola vez en el total de estructuras hidráulicas incluidas en el presente estudio. En el total de sistemas y estructuras analizadas en los municipios de Norte de Santander se encontraron en total 19 diferentes tipos de patologías.

Tabla 1. Patologías encontradas en los sistemas estudiados.

Patologías Presentadas	Cantidad
Sustancias orgánicas	28
Variación de color	28
Fisura	23
Eflorescencia	22
Desprendimiento	21
Corrosión	21
Musgo	16
Hormiguero	13
Humedad	12
Disgregación	7
Lixiviación	5
Abrasión	3
Oxidación	2
Transparencia del agregado	2
Socavación	1
Vegetación	1
Empuje de tierra	1
Fuga de lechada	1
Lavado de pasta	1
Σ Patologías encontradas	208

Fuente. Autores.

3.1. Mantenimiento correctivo de patologías más frecuentes.

Con el fin de plantear posibles soluciones a las patologías más frecuentes encontradas, se especifican directrices de mantenimiento correctivo, por medio de procesos constructivos como posibles soluciones según la gravedad de las lesiones, teniendo en cuenta sus causas principales. En el caso del hormiguero se debe determinar la profundidad y el nivel de afectación estructural generado por la lesión, con el fin de determinar si es requerida una reparación superficial o labores mucho más extensas. Posteriormente, se debe realizar la preparación de la superficie retirando las zonas afectadas, teniendo en cuenta que no se deben dejar áreas huecas o de difícil acceso para el mortero, por medio de cortes rectangulares con esquinas cuadradas que no afecten estructuralmente el concreto y en caso de existir refuerzos expuestos.

Se deberá evaluar el grado de corrosión del mismo y de ser necesario consultar al ingeniero estructural, para plantear una solución efectiva según su nivel de gravedad; posteriormente se realiza el proceso de instalación de mortero de reparación, teniendo en cuenta factores como el espesor de la aplicación, el tiempo de puesta al servicio, la resistencia a la compresión requerida, entre otros. Además, se deberá contar con una superficie en estado saturado superficialmente seco, con el fin de no afectar la relación agua-cemento del producto de reparación, generando problemas de resistencia y adherencia al proceso; adicionalmente es de vital importancia para el éxito de la reparación,

la correcta selección del material a usar, por lo que se recomienda morteros con contracción controlada como morteros tixotrópicos o semifluidos (Avendaño, 2006).

Fenómenos como la variación del color pueden prevenirse desde la realización de las estructuras, contando con una buena planificación en el proceso constructivo, con el fin de generar la menor variación posible tanto en propiedades de los materiales usados como en sus dosificaciones y reduciendo la falta de uniformidad en alguno de los materiales usados, especialmente en los agregados finos y el material cementante (Figuroa & Palacio. 2008). Cuando se presentan patologías biológicas como musgo y otras sustancias orgánicas, debido a la humedad, se puede plantear como solución un correcto lavado de la superficie afectada, quitando toda presencia de moho existente y posteriormente aplicar un impermeabilizante (Figuroa & Palacio. 2008).

Adicionalmente cuando se presentan problemas de humedad, se debe evaluar su origen para determinar la gravedad de la misma, ya que puede tener distintas causas como la humedad por filtración de agua, por capilaridad o por condensación. Luego de realizar el diagnóstico, se considera el método más factible para determinado caso teniendo en cuenta el costo, la vida útil, la estética y el proceso constructivo del mismo; entre las técnicas más usadas se encuentra la inyección de lechada impermeabilizante cuando se generan grietas o fisuras o en algunos casos el revestimiento con membranas impermeabilizantes cuando no las hay,

además se debe evaluar el control del flujo en la estructura (Avendaño, 2006).

En presencia de corrosión, se deberán tomar medidas correctivas como el aislamiento de la superficie frente de cualquier medio agresivo que pueda provocar dicha lesión, para posteriormente realizarse una limpieza a fondo de las zonas en las que se haya detectado y realizar el revestimiento con concreto de alta impermeabilidad, aumentando de esta manera la posibilidad de ingreso de oxígeno hacia la armadura (Posada, 2012). En caso de presentarse eflorescencias en la estructura estudiada, es necesario tener en cuenta que esta puede observarse en un nivel leve, el cual se presenta en obras recién terminadas y tiende a desaparecer con el pasar de los meses o en un nivel más avanzado, siendo este más difícil de eliminar, esta última tiene su origen en la porosidad de los materiales utilizados en la construcción y en humedades permanentes; el paso previo para eliminar estas lesiones es buscar las causas que lo generan y una vez determinado su foco, permitir que se sequen los cristales, para luego retirarlos con un cepillo de cerdas naturales o agua a presión, esta limpieza debe realizarse en un día caluroso para la rápida evaporación del agua y la superficie pueda secarse rápidamente, ya que de lo contrario las sales se disolverán de nuevo en el interior de ésta; si en dado caso, las sales no se disuelven con el agua, se deberá aplicar un limpiador de ácido clorhídrico a presión y por último; con el fin de prevenir futuras eflorescencias es importante impermeabilizar la zona afectada, una vez esta haya sido tratada (Zapata, 2018).

En estructuras con presencia de fisuras es importante determinar el tipo y la magnitud de la fisuración, para esto es necesario tener en cuenta las causas más comunes que se pueden presentar en muros y tanques, entre las que están la fisuración por retracción plástica, por retracción de secado, choques térmicos, corrosión del acero de refuerzo, prácticas constructivas inadecuadas, sobrecargas en el proceso constructivo y a edades tempranas o errores en el diseño, entre otras; una vez conocido su origen, se procede a determinar la magnitud, profundidad y estado de la fisura, esto se puede realizar mediante métodos de observación y ensayos destructivos o no destructivos, dependiendo de la causa que ocasionó la fisuración (Toirac, 2004). Si la lesión presentada es de tipo estructural, es indispensable haber corregido la causa que la originó antes de efectuar cualquier procedimiento de reparación, uno de los métodos más comunes cuando se trata de fisuras con muy poca apertura es la inyección de resinas epóxicas; para la corrección de fisuras no estructurales, estas deben ser ampliadas a un mínimo de 6 milímetros de ancho, conservando el factor de forma ancho: profundidad de relación 1:1 para fisuras ampliadas a 6 milímetros y de relación 2:1 para fisuras ampliadas hasta 12 milímetros, posteriormente se limpia la fisura para retirar los residuos de concreto y polvo, se usa el imprimante en los labios de la fisura ampliada antes de la aplicación del sellante, luego el sello de juntas y por último se aplica el sellante y se deja secar (Bernal, 2020).

El desprendimiento de pañetes se identificó como una de las lesiones frecuentes de las estructuras estudiadas.

Este tipo de lesión tiene diversas causas, por lo que al igual que las anteriores, es esencial examinar específicamente el origen, teniendo en cuenta tanto el material del sustrato como el del revoque; en caso de ser cementicos y calcáreos se deberá escarificar el revoque flojo y realizar un hidrolavado a presión para luego aplicar una lechada de cal diluida en agua y agregar a la pasta un polímero poliuretánico, acrílico o vinílico, el cual actúa como puente de adherencia, formando una red que retiene los áridos y le otorga elasticidad al revoque; en caso de que el revoque cuente con alta absorción a la humedad, será necesario agregar siliconas, para retener la absorción del agua por el muro (Hernández, 2019).

3.2. Mantenimiento preventivo de patologías.

La investigación realizada incluyó las recomendaciones de mantenimiento preventivo con el fin de evitar la aparición de las patologías enunciadas en las estructuras hidráulicas estudiadas y así impedir que afecten la vida útil de los elementos (Artunduaga, 2006). La aparición de hormigueros en sistemas de acueductos es muy recurrente, por tal motivo es ideal en la construcción de cualquier elemento estructural, adicionar algún aditivo que permita la no formación de esta patología, el cual debe cumplir con las especificaciones ASTM C-494 ("Designation: C 494/C 494M – 05^a", 2005).

En las patologías relacionadas con agentes biológicos como la Variación de color, eflorescencias y la aparición de musgos y/o sustancias orgánicas, Se debe

considerar la utilización de materiales hidrófugos o la aplicación de un repelente al agua o un sellador a las superficies de concreto de buena calidad, en busca de reducir el potencial del concreto para mancharse, haciendo muy fácil la limpieza de la estructura y además que bloquee la aparición de hongos en las superficies (Ospina & Cardona, 2021); estos productos deben usarse después de curado el concreto. Adicionalmente para prevenir la aparición de vegetación es posible hacer uso de pañetes lisos, pinturas impermeabilizantes, productos eliminadores de vegetación y además realizar mantenimientos periódicos (Zavala, 2016).

Una de las afectaciones más comunes en las estructuras hidráulicas es la aparición de humedad por filtración y se puede evitar con el uso de impermeabilizantes, ya que al tratarse de estructuras usadas para labores hidráulicas, estas están expuestas al agua constantemente (Guerrero *et al.*, 2021); por otro lado, la humedad por capilaridad puede prevenirse mediante la instalación de barreras físicas como láminas impermeables o químicas como la inyección de compuestos siliconados o sistemas electro-ósmosis, los cuales inducen una corriente capaz de repeler el agua (Fernández, 2008).

La prevención de la corrosión metálica se puede realizar de diversas maneras, algunas de ellas son, el uso de acero inoxidable, el recubrimiento del acero normal con zinc, plásticos o pinturas especiales o protección catódica, teniendo en cuenta los requerimientos exigidos para cada caso (Sánchez *et al.*, 2018). Las fallas mecánicas, como grietas o fisuras se pueden evitar, ya sea antes del fraguado o

después del mismo, teniendo especial cuidado con factores como el contenido de agua en el cemento, una buena mezcla con productos de calidad, acabados uniformes y una curación adecuada del hormigón (Avendaño, 2006). Finalmente, para la prevención del desprendimiento de pañetes se puede aplicar un acabado liso sobre las superficies, con una o varias capas de mortero, con el fin de emparejar la superficie que recibirá el acabado final y así brindar una mayor resistencia y estabilidad a los muros (Hernández, 2019).

4. CONCLUSIONES.

Se llevó a cabo la identificación de patologías mediante una minuciosa inspección visual de las estructuras hidráulicas en los sistemas de acueducto de Norte de Santander, abarcando los municipios de Cúcuta, Chinácota, Ocaña y Durania. La clasificación y registro de las lesiones se realizó a través de fichas técnicas, lo que permitió visualizar de manera clara y detallada las diversas patologías presentes en las distintas estructuras hidráulicas.

A partir del inventario de patologías, se presentó de manera preliminar la descripción en fichas técnicas, donde se plasmó información sobre el sitio de estudio, junto con evidencias fotográficas del mismo para realizar el diagnóstico respectivo de cada estructura hidráulica, dando como resultado un listado de 19 diferentes tipos de patologías observadas, de tipo físico, químico, mecánico y biológico. Siendo las seis patologías más frecuentes las sustancias orgánicas, la variación de color, las fisuras, las

eflorescencias, el desprendimiento de pañete y la corrosión.

Las estructuras hidráulicas que destacaron por su frecuencia en la aparición de lesiones significativas fueron los sedimentadores, con un total de 39 incidencias, y los floculadores, con 35. La propensión de estas estructuras a sufrir lesiones se atribuye a su capacidad de contener grandes volúmenes de líquido, lo que puede generar esfuerzos excesivos debido a la presión hidrostática. Además, se observó que las patologías estaban relacionadas con presiones de tierras superiores a las estimadas durante la fase de diseño y con niveles de humedad excesivos en dichas estructuras.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, M. S. M. E. G. (2013, diciembre). Estructuras hidráulicas (Conferencias de clase, documento de trabajo, 1ra versión), Popayán: Universidad del Cauca, Colombia.
- Artunduaga, O. A. S. (2006). Humedar I: alternativa innovadora de bajo costo para depurar aguas residuales en países en vía de desarrollo. *Revista ambiental agua, aire y suelo*. <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojs/viceinvest/index.php/aaas/article/view/2053/2145>
- Avendaño Rodríguez, E. (2006). Detección, tratamiento y prevención de patologías en sistemas de concreto estructural utilizados en infraestructura industrial. [Tesis Pregrado]. Universidad de Costa Rica. <https://hdl.handle.net/10669/16681>
- Barrios Valdez, I. A. (2010). Evaluación de las patologías existentes en una obra Hidráulica. Caso de Estudio Embalse

- Palmarito. [Tesis doctoral]. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/6009>
- Bernal Cely, S. A. (2020). Reparación de fisuras de concreto a partir de bioprecipitación de carbonato de calcio por medio de bacterias. [Tesis Pregrado]. Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/39804>
- Bonilla, C. A., Rubio, Y. M. y Bonilla, S. A. (2021). Afectación por derrames de crudo ocasionados por acciones subversivas al oleoducto Caño Limón Coveñas. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2572>
- Castellanos, L., Serrano, S. y Becerra, W. M. (2020). Preferencia por morfoespecies de babosas en diferentes cultivos y ambientes del municipio Pamplona, Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.356>
- Crespo Pérez, D. (2015). Propuesta de procedimiento para la evaluación y diagnóstico de obras hidráulicas. [Tesis doctoral]. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/2552>
- Designation: C 494/C 494M – 05^a. (2005). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. ASTM International. 1-10. <http://www.fortafarro.com/pdfs/internal%20documents/ASTM%20Reports/ASTM%20C494-C49M-05a.pdf>
- Díaz Barreiro, P. (2014). Protocolo para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado en Colombia. [Tesis de maestría]. Pontificia Universidad Javeriana. <http://hdl.handle.net/10554/12694>
- Fernández Curotto, J. (2008). Humedad Proveniente del Suelo en Edificaciones. [Tesis Pregrado]. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104948>
- Figueroa, T., & Palacio, R. (2008). Patologías, causas y soluciones del concreto arquitectónico en Medellín. *Revista Eia*, 5(10), 121-130. <https://doi.org/10.24050/reia.v5i10>
- Flórez, M. A., Mosquera, J., Ramón, J. D. y Caballero, J. E. (2019). Análisis de la contaminación de ruido generada por el flujo vehicular en el casco urbano del municipio de Chinácota, Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 10(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2019.3964>
- García Garnica, J. E., Sepúlveda Mora, S. B., & Ferreira Jaimes, J. (2018). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico en una planta de tratamiento de agua. *INGE CUC*, 14(1), 41-51. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.14.1.2018.04>
- Gómez, A., & Santiago, R. (2018). Determinación y Prevención de los Niveles de Eflorescencia Primaria por uso del Mortero en las Paredes de Ladrillo en el Barrio Cuba al Sur de la Ciudad de Guayaquil. [Tesis de licenciatura]. Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redu/g/29714>
- Guerrero Guio, J. C., Castellanos González, L., & Rodríguez Cely, N. T. (2021). Calidad de agua para riego de 60 fincas agroecológicas de 4 municipios del departamento de

- Boyacá. INGE CUC, 17(1).
<https://doi.org/10.17981/10.17981/ingecuc.17.1.2021.08>
- Guerrero, J., Hernández, B. y Castellanos, L. (2021). Calidad del agua para sistemas de riego en Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2).
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2573/3137>
- Hernández, S. A. (2019). Diagnóstico y solución a problemas de edificaciones a través de sistemas de mantenimiento de Sika Colombia S.A.S. [Tesis Pregrado]. Universidad Pontificia Bolivariana.
<http://hdl.handle.net/20.500.11912/8490>
- Marín-Martínez, I. D. (2017). Causas y soluciones de patología presente en cabaña Villa Luján, ubicada en la vereda de Yayatá (Silvania). [Tesis Pregrado]. Universidad Católica de Colombia.
<http://hdl.handle.net/10983/15497>
- Mahecha, J. G., Castellanos, L. y Céspedes, N. (2020). Alternativas para Suplir la Carencia de Fósforo en Fresa y Disminuir la Contaminación Ambiental en Pamplona Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 10(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.384>
- Mogollón Mogollón, D. M. (2016). Determinación y evaluación de las patologías del concreto en el canal de riego t-52 de la comisión de usuarios El Algarrobo Valle Hermoso, sector La Peñita, distrito de Tambogrande, provincia de Piura, región Piura, agosto-2016. [Tesis Pregrado]. Universidad Católica los Ángeles Chimbote.
<https://hdl.handle.net/20.500.13032/1599>
- Montalvo, A., Aldana, R., López, A., Álvarez, E., Aldana, F. y Rivera, Y. (2018). Mantenimiento centrado en confiabilidad en motocompresores. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 9(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2018.3212>
- Mora, E. A., Martínez, E. y Velasco, J. A. (2018). Simulación y validación del prototipo de un colector térmico solar hecho con neumáticos reciclados. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 9(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v9i2.404>
- Murillo Melo, C. P. (2014). Patología de concreto en estructuras de Saneamiento ambiental-caso Cundinamarca. [Tesis de Maestría] Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69239>
- Niño Rondón, C. V., Castro Casadiego, S. A. y Ortiz Fonseca, D. M. (2021). Análisis de herramientas para desarrollar un sistema de apoyo ambiental para identificar residuos sólidos. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2572/3136>
- Ortega, A., Cáceres, L. y Castiblanca, L. (2020). Introducción al Uso de Coagulantes Naturales en los Procesos de Potabilización del Agua. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i2.873>
- Ortiz Pedraza, H. C. (2016). Evaluación de las patologías en plantas potabilizadoras de la ciudad de Santa Clara. [Tesis doctoral]. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

- <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/6585>
- Ospina Zúñiga, O. E., & Cardona García, O. H. (2021). Evaluación de la contaminación por aluminio del agua para consumo humano, región central de Colombia. INGE CUC, 17(2). <https://doi.org/10.17981/ingecuc.17.2.2021.04>
- Pimiento, K., & Cárdenas, M. J. (2020). Evaluación del tratamiento preliminar y primario para las aguas residuales del procesamiento industrial de alimentos en La Grita (Venezuela). INGE CUC, 17(1). <https://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.01>
- Placencia Huaman, M. E. (2016). Determinación y evaluación de las patologías de los muros de albañilería, columnas y vigas de concreto armado del cerco perimétrico de la institución educativa Cesar Vallejo 2071-distrito de los Olivos, provincia de Lima, región Lima, marzo-2016. [Tesis Pregrado]. Universidad Católica los Ángeles Chimbote. <https://hdl.handle.net/20.500.13032/1441>
- Posada Bustamante, B. (2012). La degradación del concreto armado. Revista Universidad EAFIT, 30(93), 83–98. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1417>
- Rua, E., Gonzales, A., Granados, A. y Ramírez, R. (2018). Diseño estructural de transporte para sistema de bombeo portátil activado con energía solar fotovoltaica para el departamento de Boyacá. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 9(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2018.3219>
- Sánchez, F. L. H., Sarmiento, J. R. S., & Becerra, M. A. (2018). Análisis de acero laminado antes y después de soldado, mediante pruebas de metalografía y macroataque. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, 9(1), 1-17. <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2018.419>
- Tarazona Tobo, L., Bonilla-Granados, C. A., & Rojas Suárez, J. P. (2021). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) una alternativa integral para el manejo de las aguas lluvias. Mundo FESC, 11(21), 140-155. <http://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/1124>
- Terrero, W., Castellanos, L. y Vicet, L. (2020). Potencialidades alelopáticas del residual paja de la caña de azúcar (SACCHARUM SPP., HYBRID) para el manejo de arvenses. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 11(1) DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.357>
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción, grietas y fisuras en obras de hormigón, origen y prevención. Ciencia y Sociedad, 29(1), 72-114. <https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp72-114>
- Trujillo, J. E., Caballero, J. E. y Ramón, J. D. (2019). Determinación de las concentraciones de metales pesados presentes en el material particulado PM10 del municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS), 10(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2019.3957>



Zapata Avalos, E. G. (2018). Determinación y evaluación de patologías en las estructuras de concreto armado en el módulo N° 01 de la planta de tratamiento de agua potable del distrito de Bellavista, provincia de Sullana, departamento de Piura-abril 2018. [Tesis Pregrado]. Universidad Católica los Ángeles Chimbote.
<https://hdl.handle.net/20.500.13032/452>
3

Zavala Calva, A. M. (2016). Determinación y evaluación de las patologías del concreto del canal sub lateral 9+ 265 entre las progresivas 0+ 000–0+ 500 sector Cieneguillo Centro, distrito de Sullana, provincia Sullana, región Piura, Julio–2016. [Tesis Pregrado]. Universidad Católica los Ángeles Chimbote.
<https://hdl.handle.net/20.500.13032/1613>

