



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 7 de junio de 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

ANA MILENA MENDEZ PENAGOS, con C.C. No. 1075272212,

FABIAN HERNANDO ROJAS DUARTE, con C.C. No. 1075289907,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado **DIAGNÓSTICO DE LOS NIVELES DE ACIDEZ DEL AGUA LLUVIA REGISTRADA EN EL CIRCUITO ARQUEOLÓGICO AGUSTINIANO Y SUS POSIBLES EFECTOS SOBRE LA MORFOLOGÍA DE LAS ESCULTURAS DE SAN AGUSTÍN E ISNOS, HUILA** presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de

Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Ana Milena Méndez

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Fabian Rojas Duarte

Vigilada Mineducación



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** "DIAGNÓSTICO DE LOS NIVELES DE ACIDEZ DEL AGUA LLUVIA REGISTRADA EN EL CIRCUITO ARQUEOLÓGICO AGUSTINIANO Y SUS POSIBLES EFECTOS SOBRE LA MORFOLOGÍA DE LAS ESCULTURAS DE SAN AGUSTÍN E ISNOS, HUILA"

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MENDEZ PENAGOS	ANA MILENA
ROJAS DUARTE	FABIAN HERNANDO

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
VALDES RENTERIA	CARLOS FRANCISCO

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental

**CIUDAD:** Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2023 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 78

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**

Diagramas\_\_ Fotografías\_  Grabaciones en discos\_\_ Ilustraciones en general\_\_ Grabados\_\_  
Láminas\_\_ Litografías\_\_ Mapas\_  Música impresa\_\_ Planos\_\_ Retratos\_\_ Sin ilustraciones\_\_  
Tablas o Cuadros\_

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

Español

1. Lluvia ácida

2. Parque Arqueológico San Agustín

3. Nitratos

4. Sulfatos

5. Meteorología

6. Estatuaria

Inglés

Acid rain

San Agustín Archaeological Park

Nitrates

Sulfates

Meteorology

Statuary

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

Se presenta el primer trabajo en la región Surcolombiana sobre el diagnóstico de los niveles de acidez del agua lluvia en el circuito arqueológico agustiniano, ubicado en los municipios San Agustín e Isnos del departamento del Huila, mediante, el análisis de parámetros fisicoquímicos como pH, nitratos y sulfatos en la precipitación. El estudio se realizó, a través, del diseño e instalación de una red de muestreo en 6 puntos ubicados en sitios estratégicos y conocidos con los nombres: Altos de Las Piedras, Altos de Los Ídolos, La Pelota y Purutal, El Tablón, La Chaquira y Parque Arqueológico de San Agustín.

Para mayor precisión en las variaciones de los niveles fisicoquímicos, se analizaron los informes de precipitaciones originados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para los municipios que cubren el circuito, durante el periodo comprendido entre enero y mayo del año 2022 donde se abordó la determinación de lluvia ácida.

También, se registró mediante un análisis cualitativo los posibles efectos de la lluvia sobre la morfología de las esculturas agustinianas consideradas patrimonio histórico de la humanidad.

A partir de esta investigación se determinó que, la combustión en las industrias artesanales y zonas aledañas generan carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que al reaccionar con agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) procedente de la atmósfera, produce ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) el cual al mezclarse con el carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) generan un bicarbonato con un pH básico, que altera la morfología de las esculturas agustinianas.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

The first work in the South Colombian region on the diagnosis of rainwater acidity levels in the Augustinian archaeological circuit, located in the San Agustín and Isnos municipalities of the department of Huila, is presented, through the analysis of physicochemical parameters such as pH,

Vigilada Mineducación



nitrate and sulfates in the precipitation. The study was carried out through the design and installation of a sampling network at 6 points located in strategic sites and known by the names: Altos de Las Piedras, Altos de Los Ídolos, La Pelota and Purutal, El Tablón, La Chaquira. and Archaeological Park of San Agustín.

For greater precision in the variations of the physicochemical levels, the precipitation reports originated by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM) were analyzed for the municipalities that cover the circuit, during the period between January and May of the year. 2022 where the determination of acid rain was addressed.

Also, the possible effects of rain on the morphology of the Augustinian sculptures considered historical heritage of humanity were recorded through a qualitative analysis.

From this investigation it was determined that the combustion in the artisan industries and surrounding areas generate calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) that when reacting with water ( $\text{H}_2\text{O}$ ) and carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) from the atmosphere, produces carbonic acid ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) which when mixed with carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) generates bicarbonate with a basic pH, which alters the morphology of Augustinian sculptures.

#### APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: NESTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA

Firma:

Nombre Jurado: ALFREDO OLAYA AMAYA

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

**DIAGNÓSTICO DE LOS NIVELES DE ACIDEZ DEL AGUA LLUVIA REGISTRADA EN EL  
CIRCUITO ARQUEOLÓGICO AGUSTINIANO Y SUS POSIBLES EFECTOS SOBRE LA  
MORFOLOGÍA DE LAS ESCULTURAS DE SAN AGUSTÍN E ISNOS, HUILA**

**ANA MILENA MÉNDEZ PENAGOS  
FABIÁN HERNANDO ROJAS DUARTE**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
NEIVA, HUILA  
2023**

**DIAGNÓSTICO DE LOS NIVELES DE ACIDEZ DEL AGUA LLUVIA REGISTRADA EN EL  
CIRCUITO ARQUEOLÓGICO AGUSTINIANO Y SUS POSIBLES EFECTOS SOBRE LA  
MORFOLOGÍA DE LAS ESCULTURAS DE SAN AGUSTÍN E ISNOS, HUILA**

**ANA MILENA MÉNDEZ PENAGOS COD. 20191181964**

**FABIÁN HERNANDO ROJAS DUARTE COD. 20191181860**

**Trabajo de grado, presentado como requisito parcial para optar al título de Magíster En  
Ingeniería Y Gestión Ambiental**

**Director:**

**CARLOS FRANCISCO VALDÉS RENTERIA**

**Docente de planta, Ingeniería de Petróleos**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**NEIVA, HUILA**

**2023**

## AGRADECIMIENTOS

En primera medida agradecemos a Dios por ser nuestro guía, y darnos la sabiduría y disposición para llevar a cabo esta investigación. Damos gracias infinitas a nuestras familias que nos acompañaron y apoyaron constantemente. A ellos debemos el logro de esta meta por ser nuestra mayor inspiración y fuerza. Por sus sacrificios, amor y ejemplo de vida.

A nuestro director Carlos Francisco Valdés Rentería, docente de la Universidad Surcolombiana por su ejemplo de perseverancia y pasión por la investigación. Por su acompañamiento incondicional, paciencia, asesoría, orientación, sugerencias y entrega durante el desarrollo de esta tesis de grado.

A la comunidad de los municipios de Isnos y San Agustín que nos dieron apoyo absoluto para llevar a cabo nuestra investigación, orientándonos y enseñándonos sus recuerdos e historias sobre la cultura que allí se estableció.

A los líderes y responsables del cuidado y bienestar de cada sitio arqueológico en el que se realizó la investigación, pues gracias a ellos logramos excelentes resultados ya que protegían el área de investigación.

A la profesora Lina María Cruz Farfán de Pitalito – Huila, por abrirnos el espacio en su hogar y compartir con nosotros toda la cultura Agustiniana.

A los docentes que acompañaron nuestro proceso de formación y miembros del jurado de esta tesis, por su disposición y sugerencias como importantes aportes para el mejoramiento de este trabajo.

## RESUMEN

Se presenta el primer trabajo en la región Surcolombiana sobre el diagnóstico de los niveles de acidez del agua lluvia en el circuito arqueológico agustiniano, ubicado en los municipios San Agustín e Isnos del departamento del Huila, mediante, el análisis de parámetros fisicoquímicos como pH, nitratos y sulfatos en la precipitación. El estudio se realizó, a través, del diseño e instalación de una red de muestreo en 6 puntos ubicados en sitios estratégicos y conocidos con los nombres: Altos de Las Piedras, Altos de Los Ídolos, La Pelota y Purutal, El Tablón, La Chaquira y Parque Arqueológico de San Agustín.

Para mayor precisión en las variaciones de los niveles fisicoquímicos, se analizaron los informes de precipitaciones originados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para los municipios que cubren el circuito, durante el periodo comprendido entre enero y mayo del año 2022 donde se abordó la determinación de lluvia ácida.

También, se registró mediante un análisis cualitativo los posibles efectos de la lluvia sobre la morfología de las esculturas agustinianas consideradas patrimonio histórico de la humanidad.

A partir de esta investigación se determinó que, la combustión en las industrias artesanales y zonas aledañas generan carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que al reaccionar con agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) procedente de la atmósfera, produce ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) el cual al mezclarse con el carbonato ( $\text{CO}_3^{-2}$ ) generan un bicarbonato con un pH básico, que altera la morfología de las esculturas agustinianas.

**Palabras claves:** Lluvia ácida, Parque Arqueológico San Agustín, Nitratos, Sulfatos, Meteorología, Estatuaria.



## ABSTRACT

The first work in the South Colombian region on the diagnosis of rainwater acidity levels in the Augustinian archaeological circuit, located in the San Agustín and Isnos municipalities of the department of Huila, is presented, through the analysis of physicochemical parameters such as pH, nitrates and sulfates in the precipitation. The study was carried out through the design and installation of a sampling network at 6 points located in strategic sites and known by the names: Altos de Las Piedras, Altos de Los Ídolos, La Pelota and Purutal, El Tablón, La Chaquira. and Archaeological Park of San Agustín.

For greater precision in the variations of the physicochemical levels, the precipitation reports originated by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM) were analyzed for the municipalities that cover the circuit, during the period between January and May of the year. 2022 where the determination of acid rain was addressed.

Also, the possible effects of rain on the morphology of the Augustinian sculptures considered historical heritage of humanity were recorded through a qualitative analysis.

From this investigation it was determined that the combustion in the artisan industries and surrounding areas generate calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) that when reacting with water ( $\text{H}_2\text{O}$ ) and carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) from the atmosphere, produces carbonic acid ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) which when mixed with carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) generates bicarbonate with a basic pH, which alters the morphology of Augustinian sculptures.

**Keywords:** Acid rain, San Agustín Archaeological Park, Nitrates, Sulfates, Meteorology, Statuary.

## Tabla de contenido

1.	Introducción .....	7
2.	Justificación .....	8
3.	Objetivos.....	10
3.1	Objetivo General:.....	10
3.2	Objetivos Específicos: .....	10
4.	Marco referente .....	11
4.1	Zona de estudio.....	11
4.3	Lluvia ácida.....	18
5.	Metodología.....	26
5.1	Primera Etapa.....	26
5.2	Segunda Etapa.....	31
5.3	Tercera Etapa.....	38
6.	Resultados y Discusión .....	39
6.1	Análisis de Parámetros Meteorológico .....	39
6.2	Análisis parámetros fisicoquímicos .....	51
6.3	Evaluación De La Percepción Y Grado De Afectación De Las Esculturas Agustonianas. ....	59
7.	Conclusiones .....	66
8.	Bibliografía.....	67
9.	Anexos.....	72

## 1. Introducción

Las industrias a nivel mundial y en especial en países en desarrollo como actualmente está catalogado el territorio colombiano han tenido auge en sus diferentes capacidades de producción y transformación de la materia prima, no obstante, el desarrollo industrial al inducir a una sobreproducción y no considerar el riesgo ambiental, puede ocasionar alteraciones en el entorno, contaminación del aire, el agua y el suelo, desequilibrio en los ecosistemas y agotamiento de los recursos naturales (Suárez y Molina, 2014).

De esta manera, las actividades humanas generan residuos de tipo sólido, líquido y gaseoso. Este último se presenta generalmente por el consumo de combustibles fósiles, puesto que, los productos derivados de las reacciones de combustión se hallan normalmente en la naturaleza, pero, un mayor índice de emisión en relación a la capacidad de asimilación y autodepuración en los ecosistemas conlleva a maximizar gases tóxicos para el medio ambiente.

En este sentido, en el Huila la industria ladrillera ubicada en el municipio de Pitalito es una fuente de empleo importante y actividad que genera un impacto ambiental significativo ya que en la quema se afectan recursos naturales como el aire y el suelo (Cortés et al., 2017), además, la industria panelera ubicada en las cercanías del Parque Arqueológico de San Agustín cuenta con 3.213 hectáreas y 1.785 productores, siendo en su mayoría trapiches paneleros no adecuados (Fedepanela, 2019), que en su proceso de producción realizan la combustión de madera, llantas, plásticos, entre otros residuos comburentes, que al ser quemados emiten variedad de contaminantes a la atmósfera como monóxido de carbono, óxidos de nitrógenos, óxidos de azufre y partículas sólidas, que al reaccionar generan una modificación en el pH de la lluvia siendo un posible factor en la meteorización de esculturas prehispánicas de la cultura agustiniana.

Por lo anterior surge el interrogante *¿Cuáles son los niveles de acidez del agua lluvia registrada en el circuito arqueológico Agustiniano San Agustín, Isnos, Huila y qué efectos causa sobre la morfología de las esculturas?*

## 2. Justificación

El Parque Arqueológico de San Agustín exalta las obras escultóricas prehispánicas de América precolombina, está ubicado en las estribaciones del macizo colombiano al sur occidente de Colombia en el departamento del Huila, declarado en diciembre de 1995 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) como patrimonio cultural de la humanidad (UNESCO, 1995). Las expresiones de la cultura Agustiniense representan figuras antropomorfas y antropozoomorfas, además, de la capacidad que tuvieron las sociedades prehispánicas para construir complejos funerarios, cerámicas, ceremonias de ofrendas a sus dioses, realzar la importancia de la reproducción, la fertilidad, la agricultura, la medicina y su concepción espiritual de la vida después de la muerte, de igual forma, la construcción de montículos que orientaban a comprender el desarrollo de las organizaciones políticas, una cuestión central para la teoría antropológica (UNESCO, 1995).

El circuito arqueológico agustiniano se compone de algunas zonas como el Parque Arqueológico de San Agustín integrado por Las Mesitas, El Tablón, La Chaquirá, La Pelota y Purutal en el municipio de San Agustín, Alto de Los Ídolos y Alto de Las Piedras, en Isnos. La zona de mayor extensión es Mesitas que se encuentra al oeste de la cabecera municipal de San Agustín, donde se concentran los servicios hoteleros y turísticos de la región (González, 2008). De igual manera, es corredor vial para veredas y corregimientos aledaños que implica el tránsito constante de fuentes móviles de contaminación causada por la combustión de los automotores (vehículos y motocicletas) cuya emisión está constituida por hidrocarburos, óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (El tiempo, 1996).

Estas concentraciones industriales y urbanas conllevan a la formación de lluvia ácida la cual, es un problema ambiental que afecta no solo a las zonas emisoras de contaminante si no, a áreas aledañas, por lo que determinar los parámetros fisicoquímicos del agua lluvia aportó valores para el análisis del proceso de acidificación de un área determinada y de esta manera se evaluó las fuentes, agentes y factores contaminantes al igual que, antropogénicos, climatológicos y topográficos (Burbano y Figueroa, 2014).

Por lo anterior, hay interés de aportar datos de las condiciones ambientales actuales del circuito arqueológico Agustiniense, para evaluar los niveles de acidez de las precipitaciones sobre las zonas mencionadas anteriormente y la incidencia de algunos parámetros fisicoquímicos, sobre la morfología de las esculturas consideradas reliquias

arqueológicas de gran importancia para el país. Cabe resaltar que el parque arqueológico no presenta un programa de monitoreo constante del agua lluvia cuya función estaría a cargo del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) debido a complicaciones como la ubicación de los sitios, los equipos de monitoreo, la topografía del territorio y la falta de recursos financieros.

Finalmente, en el análisis del inventario para la obtención de la información se encontró una investigación realizada por Tovar y Orjuela (2017) cuyo objetivo fue determinar la acidez del agua lluvia únicamente del Parque Arqueológico de San Agustín – Huila y relacionarlo con las condiciones atmosféricas durante los meses de febrero a mayo del año 2017, lo que significa que este fenómeno ha sido poco estudiado, aun cuando es de gran trascendencia e importancia a nivel local, nacional e internacional el evaluar los impactos que generan los niveles de acidez del agua lluvia sobre las zonas estatuaria.

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo General:

- Determinar la acidez del agua lluvia y los efectos causados sobre la morfología de las esculturas del circuito arqueológico Agustiniiano durante el periodo de enero a mayo de 2022.

#### 3.2 Objetivos Específicos:

- Establecer la concentración de pH y de iones, precursores de la lluvia ácida a través del análisis de nitratos, sulfatos y su comparación con valores de referencia.
- Realizar el estudio de las condiciones meteorológicas de las zonas a estudiar dentro del circuito arqueológico Agustiniiano y relacionarlo con el comportamiento de la lluvia ácida durante el periodo de enero a mayo del año 2022.
- Determinar de forma cualitativa la posible incidencia de la lluvia ácida en el deterioro de las esculturas prehispánicas de la cultura Agustiniiana.

## 4. Marco referente

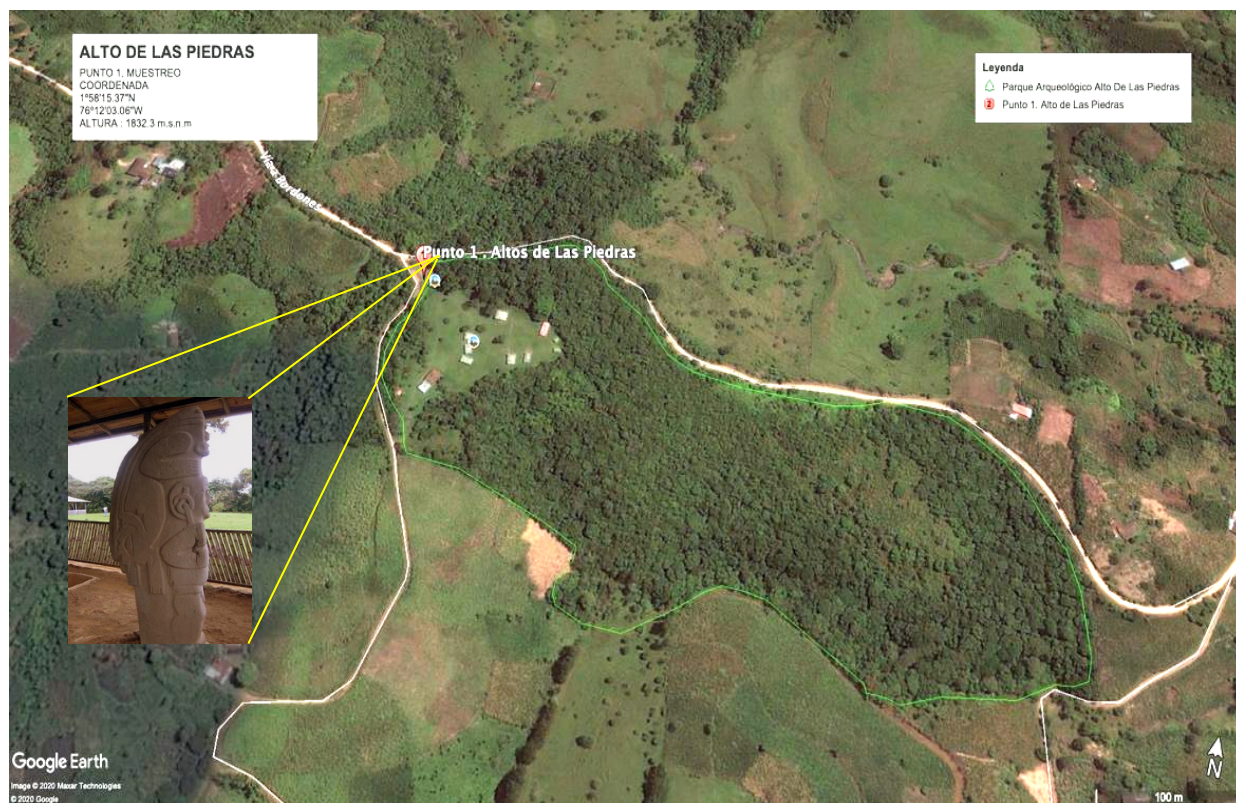
### 4.1 Zona de estudio

#### Altos de Las Piedras

Los espacios funerarios del Alto de Las Piedras se caracterizan por la profundidad de las tumbas y la conservación de la pintura original sobre las lajas. Este centro ceremonial se ubica en la vereda las Delicias, unos diez kilómetros al norte del Alto de Los Ídolos, sobre una pequeña colina adecuada por habitantes prehispánicos por medio de rellenos artificiales. En el sitio se encuentra la enigmática estatua conocida como El Doble Yo, un personaje humano con largos colmillos que lleva en su cabeza otra figura más pequeña con rasgos humanos y animales que se ha prestado a numerosas interpretaciones, la más popular de ellas es afín a la teoría del ello, el yo y el Doble Yo, elaborada por el psicoanálisis, según lo indica el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH, 2011) (Figura 1).

#### Figura 1

##### *Alto de Las Piedras – Isnos*



*Nota.* Fotografía satelital de la delimitación del área de estudio

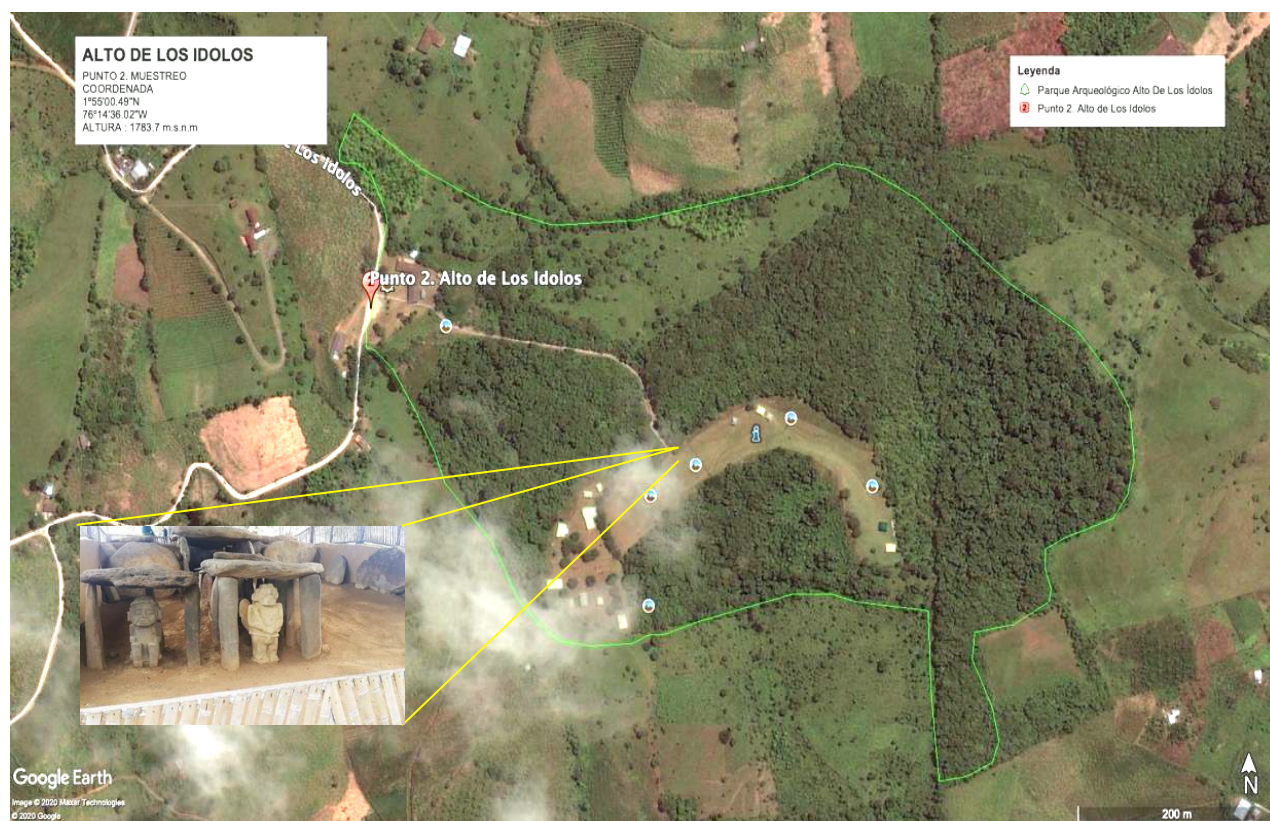
*Fuente.* Adaptado de Google Earth y web Huila Magnifica (<https://huilamagnifica.com/mirador-del-doble-yo-san-agustin/>)

## Altos de Los Ídolos

El Alto de Los Ídolos localizado en el municipio de Isnos es, después de Mesitas, el sitio con mayor concentración de piezas arqueológicas, entre tumbas, montículos y estatuas de la cultura arqueológica agustiniana. Ídolos fue un centro ceremonial constituido por siete montículos funerarios ubicados en una loma natural en forma de herradura. Se hallan sarcófagos de gran tamaño, decorados con diseños y pinturas policromas muy elaboradas. Hay diversas figuras zoomorfas que sugieren intercambios entre los antiguos habitantes del Alto Magdalena y pobladores de otras regiones, posiblemente de zonas selváticas (ICANH, 2011) (Figura 2).

### Figura 2

#### *Alto de los Ídolos*



*Nota.* Fotografía satelital de la delimitación del área de estudio



Fuente. Adaptado de Google Earth y web sanagustinhuilacolombia:

(<https://www.sanagustinhuilacolombia.com/circuito-turistico/parque-arqueologico-alto-de-los-idolos>)

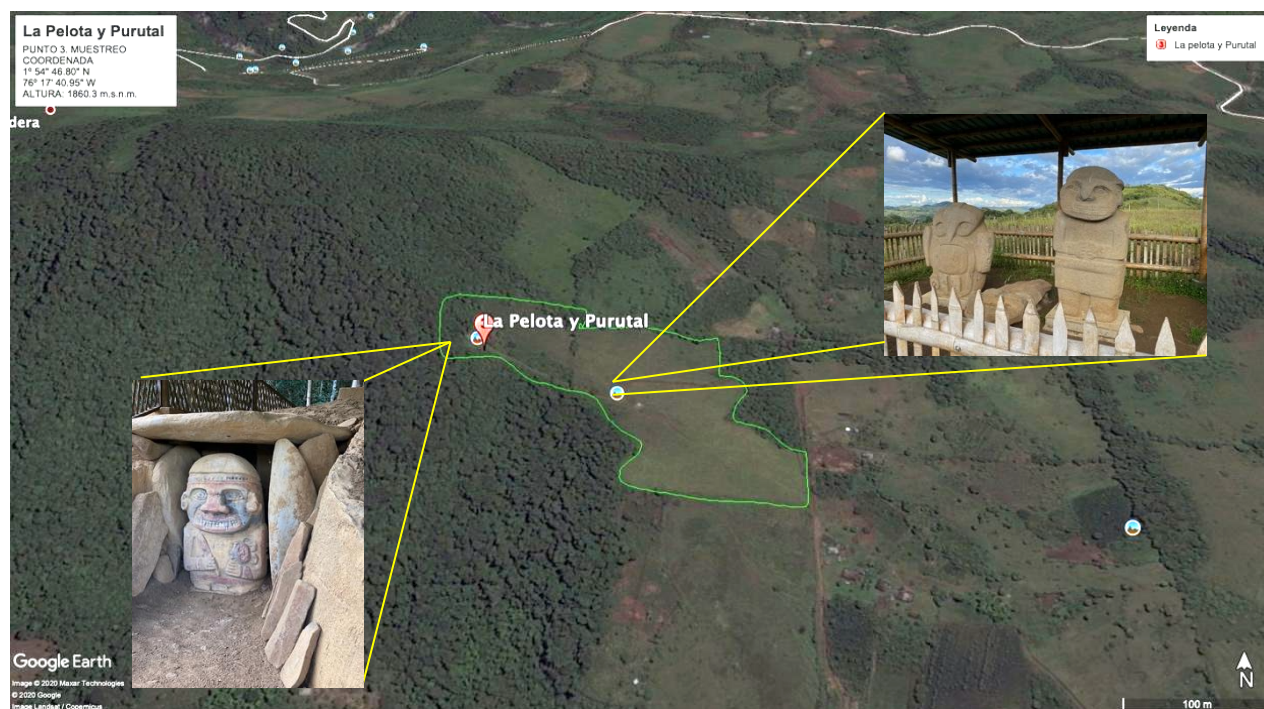
Los sitios mencionados se destacan por su valor histórico debido a la existencia de ejemplos únicos de estructuras funerarias de la cultura agustiniana y la presencia de policromía en algunas de estas estructuras y en la estatuaria.

### La Pelota y Purutal

Ubicado entre el cerro de El Purutal y la vertiente noroeste del cerro de La Pelota. El mayor atractivo de este sitio arqueológico son las esculturas que aún conservan los colores que poseían algunas de las estatuas principales de la región (blanco, rojo, negro y amarillo). El cerro de La Pelota, con su posición geográfica dominante sobre la región, resguarda una estructura funeraria que fue visitada por Agustín Codazzi en 1857. Entre sus estructuras se destacan un sarcófago, una estatua con forma de búho o águila agarrando una serpiente y una estatua con representación femenina con un niño en la mano izquierda y un mazo en la mano derecha (ICANH, 2011) (Figura 3).

### Figura 3

*La Pelota y Purutal – San Agustín.*



*Nota.* Fotografía satelital de la delimitación del área de estudio

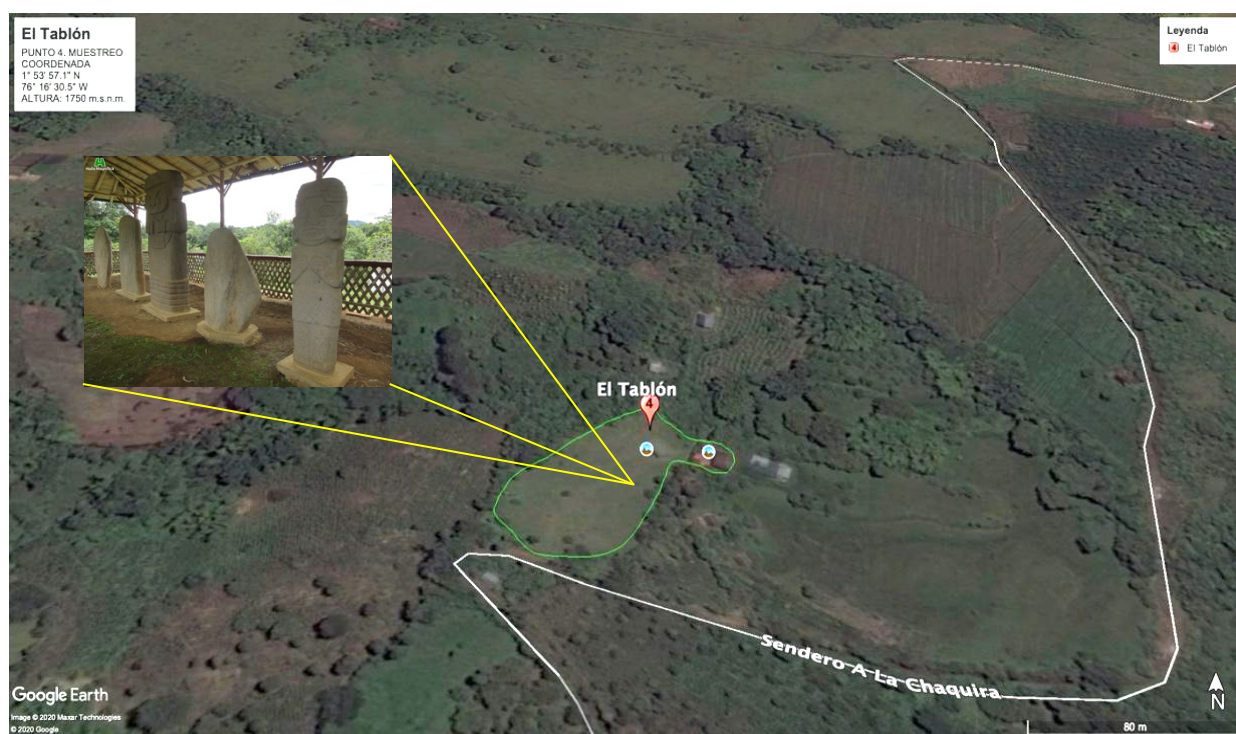
*Fuente.* Adaptado de Google Earth y web Huilamagnifica: (<https://huilamagnifica.com/museo-etnografico-el-tablon-san-agustin/>)

## El Tablón

El sitio está ubicado dos kilómetros al norte del poblado de San Agustín, a orillas de la quebrada de El Tablón. En el lugar se encuentran cinco estatuas bajo un montículo de tierra, asociadas a tres templetos funerarios. Una de estas estatuas, de 2,2 metros de altura, está ataviada con un tocado, una túnica, un collar y una nariguera, lo que demuestra el nivel técnico y estético de los talladores. Esta y las demás estatuas del sitio han sido clasificadas como figuras femeninas (ICANH, 2011). (Figura 4)

### Figura 4

*El Tablón – San Agustín.*



*Nota.* Fotografía satelital de la delimitación del área de estudio

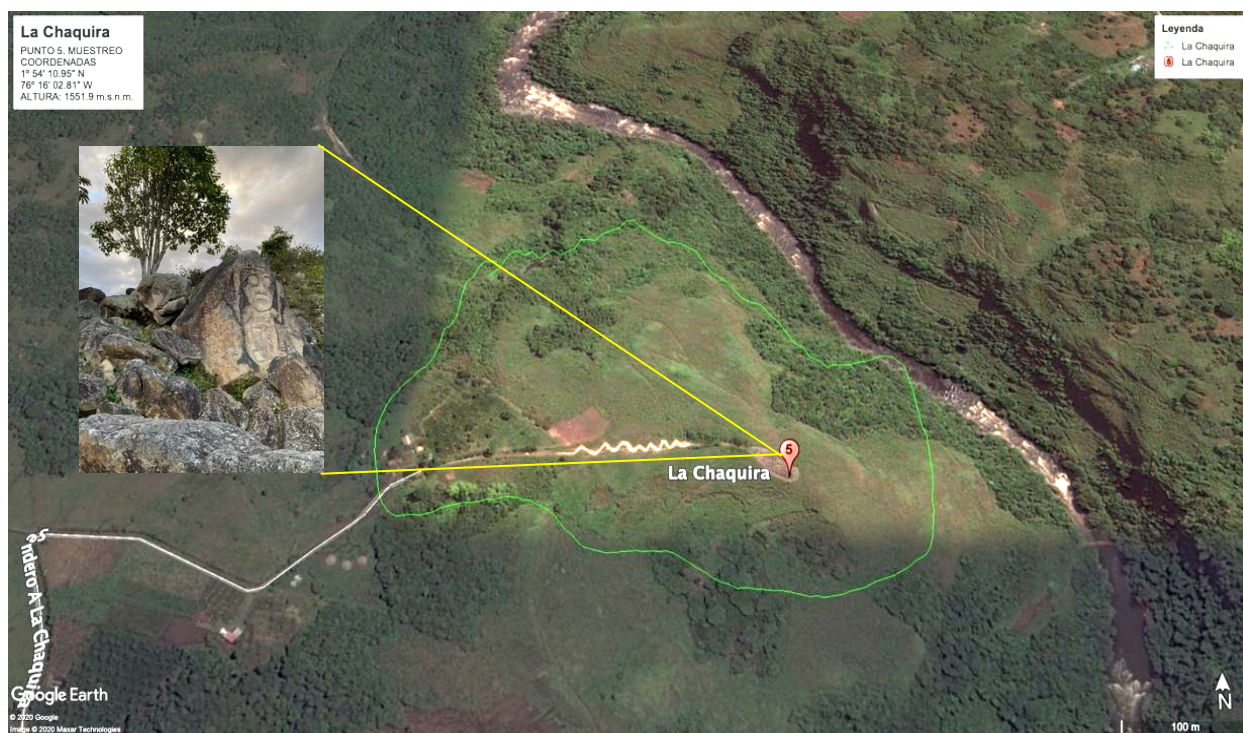
*Fuente.* Adaptado de Google Earth y web Huilamagnifica: (<https://huilamagnifica.com/museo-etnografico-el-tablon-san-agustin/>)

## La Chaquira

La Chaquira, se ubica a cuatro kilómetros al norte del poblado de San Agustín, sobre la cuchilla que separa la quebrada El Tablón del cañón del río Magdalena. Presenta una serie de relieves escultóricos con representaciones humanas y animales sobre un grupo de rocas volcánicas naturales del lugar. Sobresalen tres figuras talladas en un mismo bloque, con los brazos y los pies hacia los lados, como en actitud de adoración (ICANH, 2017) (Figura 5).

### Figura 5

*La Chaquira – San Agustín.*



*Nota.* Fotografía satelital de la delimitación del área de estudio

*Fuente.* Adaptado de Google Earth

## Parque arqueológico de San Agustín

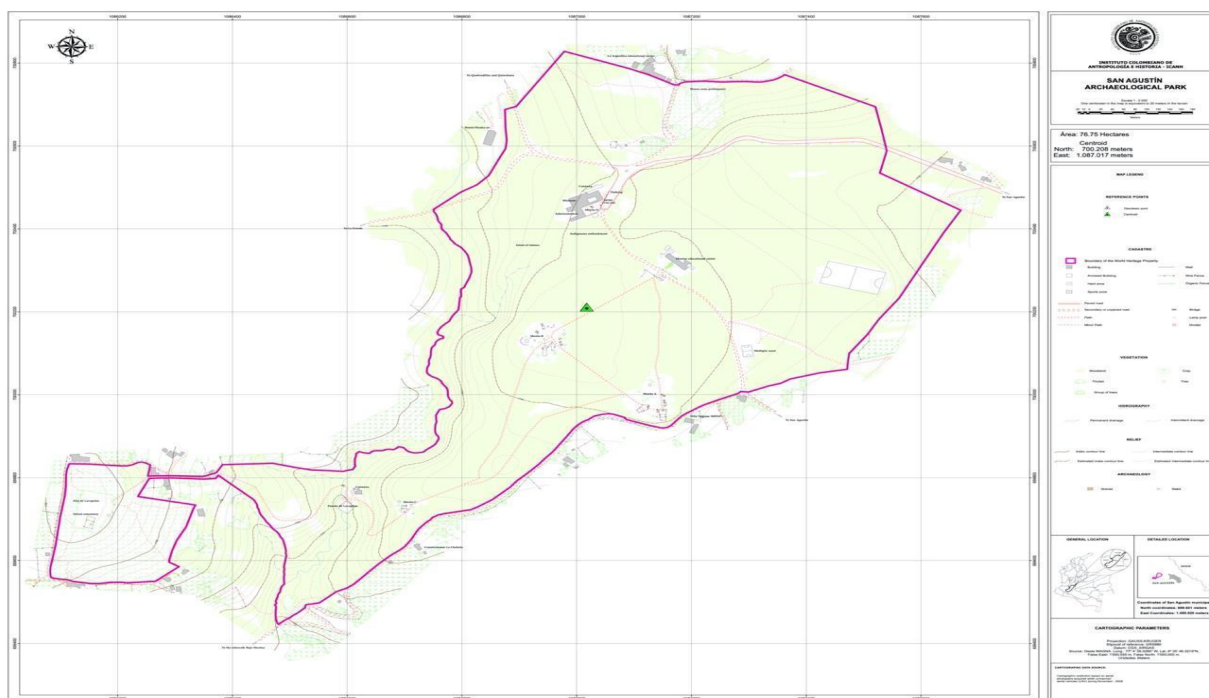
San Agustín fue declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO desde 1995. Esta organización expresó en su momento: *“Aquí se yergue, en medio de un paisaje natural impresionante, el mayor conjunto de monumentos religiosos y esculturas megalíticas de Suramérica. Se trata de representaciones de deidades y mitológicas que están ejecutadas con gran maestría en diferentes estilos, que van desde la abstracción al realismo”* (UNESCO, 2020).

Para comprender la importancia y legado cultural se debe conocer su territorio, el Parque Arqueológico de San Agustín se ubica cerca del Macizo Colombiano de los Andes del sudoeste de Colombia, delimitada por las cordilleras central y oriental, apenas separadas por el valle del río Magdalena cuyo río descende con gran poder. (Colparques, s.f.).

Las zonas del Parque Arqueológico Nacional de San Agustín se localizan en, el municipio de San Agustín (Mesita A, Mesita B, Mesita C, La Estación, Alto de Lavapatas y Fuente de Lavapatas), y Alto de los Ídolos y Alto de Las Piedras en Isnos. El Parque Arqueológico de San Agustín simboliza la creatividad artística e imaginaria de las sociedades prehispánicas del norte de Sudamérica para expresar el mayor complejo de monumentos funerarios y estatuas megalíticas precolombinas, túmulos funerarios, montículos, terrazas, estatuas de piedra, zonas de cultivo y ceremonias como la Fuente de Lavapatas, un monumento religioso tallado en el lecho de piedra de una corriente (UNESCO, 2020) (Figura 6 y 7).

### Figura 6

*San Agustín – ubicación de las mesitas A, B, C, D.*

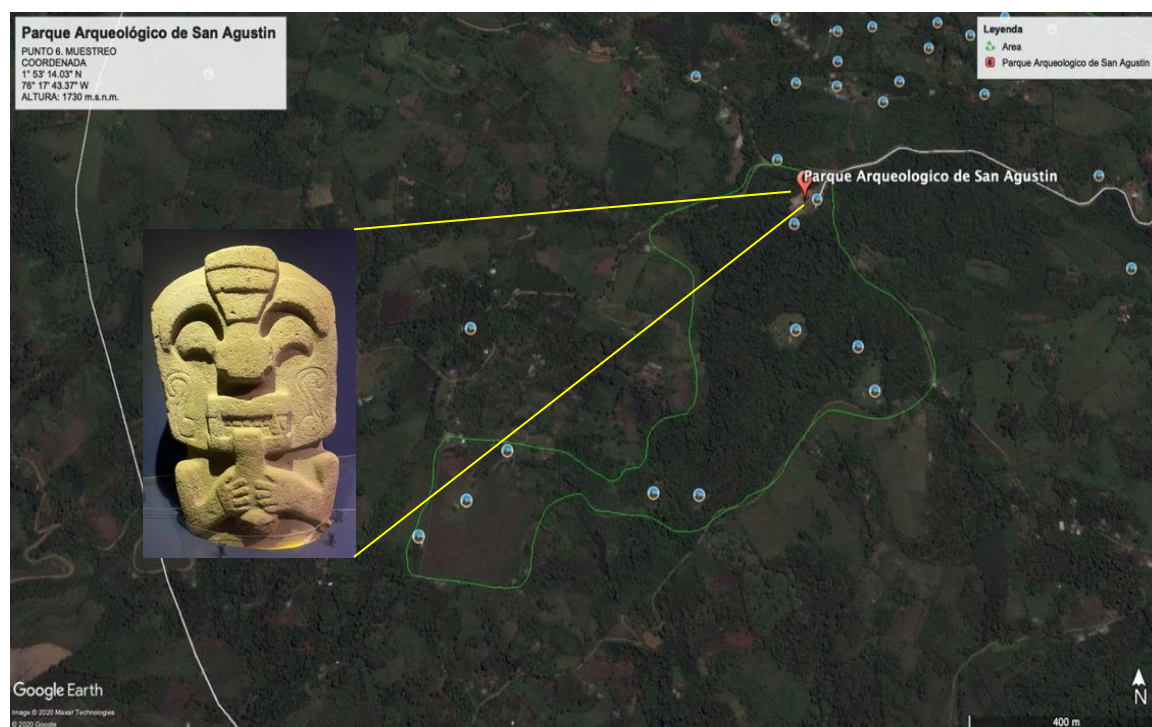


*Nota.* Fotografía satelital de la delimitación del área de estudio

*Fuente.* Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH, 2008). (Unesco, 2020)

## Figura 7

### Parque Arqueológico de San Agustín – San Agustín.



*Nota.* Fotografía satelital de la delimitación del área de estudio

*Fuente.* Adaptado de Google Earth

En la cultura de San Agustín se manifiesta un profundo sentido religioso a sus dioses y culto a los antepasados, además, de la comprensión de la naturaleza y relación con el hombre. En su legado escultórico dan testimonio del conocimiento sobre la medicina, el arte, la fertilidad y agua como fuente de energía vital. En las rocas volcánicas plasmaron su cosmovisión a las deidades, los sacerdotes, los guerreros, los retratos funerarios y los animales, esculturas con morfología antropomorfa y antropozoomorfas. También, a través de sus tallas megalíticas expresaron su forma de organización social, política y económica (ICANH, 2011).

Por otra parte, en cuanto a la protección del Parque Arqueológico, en la Constitución Política de Colombia (Const. 1991), en sus artículos 63 y 72 se establece que el Patrimonio Arqueológico de la Nación es inalienable, inembargable e imprescriptible.

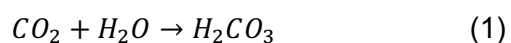
A sí mismo, en las regulaciones actuales, incluida la Ley General de Cultura (No. 1185 de 2008 y el decreto 763 de 2009) se define un régimen especial del Patrimonio Arqueológico, que prohíbe las excavaciones u otras intervenciones arqueológicas sin una licencia emitida por

el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), evitando así el saqueo y el tráfico de bienes culturales, según lo establecido por el Ministerio de Cultura (Mincultura, 2009).

Sin embargo, se presentan amenazas que afectan la protección y conservación del parque a nivel natural como son, los fuertes vientos y los altos niveles de lluvia que causan erosión durante todo el año, la inestabilidad del suelo y la erosión del lecho de roca causada por el agua que fluye sobre los diseños tallados en el lecho de roca (en el sitio de Fuente de Lavapatas). A pesar de los impactos de los fenómenos naturales en los restos materiales, las acciones de conservación han preservado su integridad material, pero, siguen aconteciendo desafíos para mantener la integridad de un área tan vasta a la luz de las presiones para el uso agrícola extendido y el crecimiento de las comunidades locales (Álvarez et al., 2007).

#### 4.3 Lluvia ácida

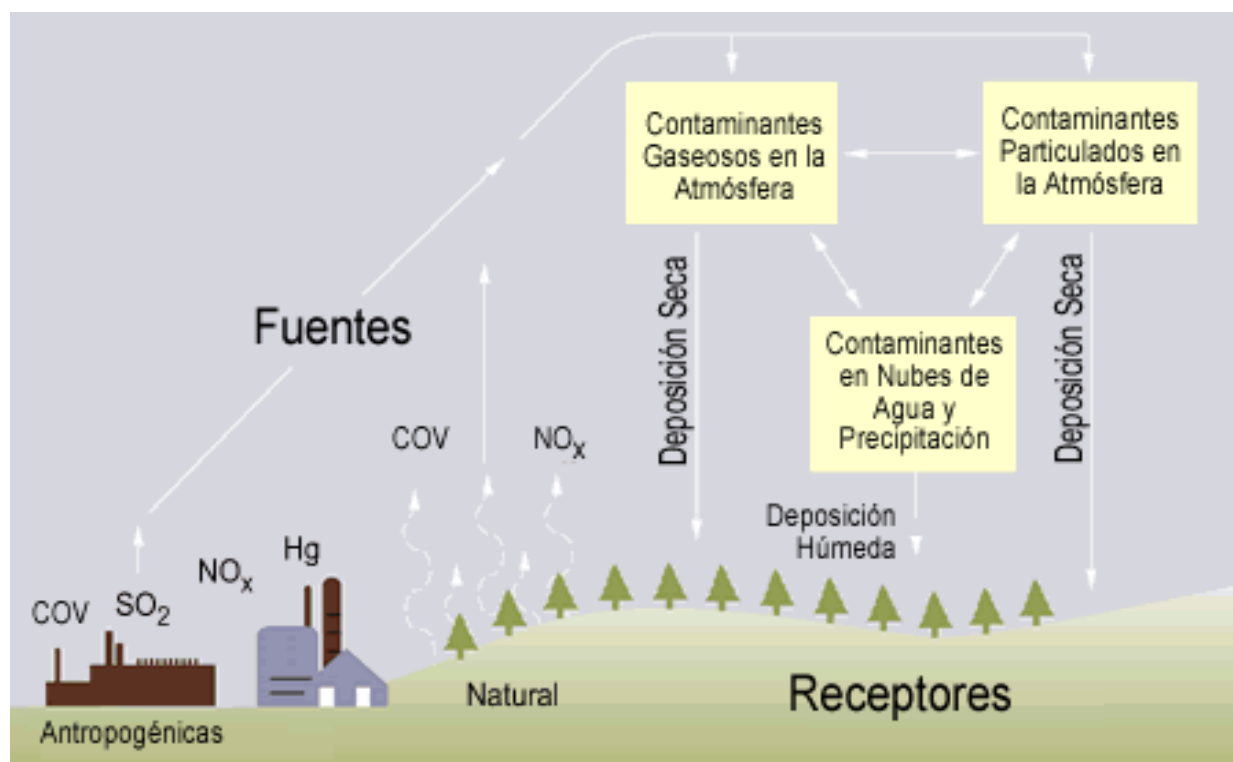
La acidez en la precipitación es un fenómeno frecuente en atmósferas contaminadas, principalmente, por emisiones de óxidos de azufre ( $SO_x$ ) y de nitrógeno ( $NO_x$ ), que al reaccionar con el vapor de agua dan paso a la formación de ácidos fuertes, como, el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) responsable de la disminución de pH en un 60% a 70% y ácido nítrico ( $HNO_3$ ) en un 30% (López y Herrera, 2011), debido a su capacidad de ionizarse completamente en soluciones diluidas y posteriormente depositarse en la superficie de la tierra. Es bueno anotar que la lluvia limpia o sin contaminantes es ligeramente ácida con un pH medio entre 5 y 6, ya que el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), y el agua ( $H_2O$ ) reaccionan en el aire para formar ácido carbónico (ecuación 1), considerado como débil; sin embargo, es responsable de la formación de costras de  $CaCO_3$ .



La lluvia ácida es uno de los impactos ambientales de mayor preocupación debido a su incidencia desde la atmósfera por causas naturales como emisiones de las erupciones volcánicas, fuentes termales, y fumarolas; además, del producto final de diversos grupos bacterianos y de la capa vegetal en descomposición. De igual forma, las acciones humanas originadas por la quema de combustibles fósiles y materias primas carbonosas, generan gases compuestos principalmente de óxidos de azufre ( $SO_x$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) (Granados et al., 2010) (Figura 8).

**Figura 8**

Formación de acidez atmosférica y deposición ácida.



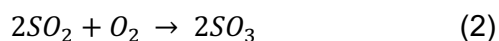
Fuente. Tomado de la página web IDEAM

Según lo planteado por García et al., (2004), el dióxido de azufre gaseoso permanece en la atmósfera de 2 a 7 días, antes de ser removido en forma de sulfato, mientras, los óxidos de nitrógeno se establecen 6 días antes de ser relevados como Ácido Nítrico ( $HNO_3$ ). En este sentido, los periodos de alojamiento permiten su transporte por las masas de aire a través de considerables distancias antes de retornar a la biosfera en forma de lluvia, nieve o partículas sólidas, convirtiéndose así en un problema de contaminación a escala global por lo que las condiciones meteorológicas como dirección de los vientos, radiación solar, nubosidad, temperatura y humedad relativa influyen en el proceso.

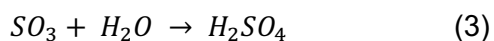
Según Benítez (1993) el agua lluvia es considerada ácida porque el agua ( $H_2O$ ) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) del aire reaccionan formando ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ) y presenta un pH (potencial de hidrógeno) entre 5.7 y 7. En lugares contaminados por ácido sulfúrico y ácido nítrico el pH de esa lluvia varía entre 5 y 3.

En cuanto a las reacciones que producen los ácidos sulfúrico y nítrico en la atmósfera son:

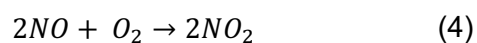
El dióxido de azufre se oxida produciendo el trióxido de azufre (ecuación 2).



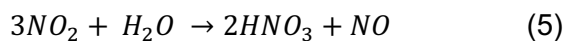
Este trióxido al unirse con el vapor de agua de la atmósfera reacciona y da lugar al ácido sulfúrico (ecuación 3).



El monóxido de nitrógeno se oxida por la acción del oxígeno atmosférico, dando lugar al dióxido de nitrógeno (ecuación 4).



El dióxido de nitrógeno reacciona con el agua dando lugar al ácido nítrico y óxido de nitrógeno (ecuación 5).



De este modo, Domenéch (1991) citado en Vélez et al., (2010) destaca que la mayor contribución a la acidez de la lluvia es originada del dióxido de azufre ( $SO_2$ ), debido a su alto potencial de solubilidad en agua en comparación con el óxido de nitrógeno ( $NO_2$ ).

#### **4.4 Fuentes emisoras de lluvia ácida**

La lluvia ácida puede atribuirse principalmente a contaminantes producidos por fuentes naturales y antropogénicas.



**Fuentes naturales.** Las emisiones originadas de manera natural derivan de aspectos como las actividades volcánicas, fumarolas, fuentes termales, incendios forestales, descomposición de material orgánico y actividades metabólicas microbianas. Los agentes que influyen en la producción de nitrógeno y azufre, se presentan a continuación:

**Fuente emisora de azufre.** El azufre es un átomo que debe viajar desde las zonas biológicas a la atmósfera y retornar para cumplir con un ciclo biogeoquímico que conduce a su equilibrio en el ecosistema. Las cantidades de azufre que son emitidas a la atmósfera han sido generadas por agentes como las actividades metabólicas microbianas, la descomposición orgánica de animales y plantas, la deposición de desechos o aerosoles en zonas marinas y litorales, la erosión, meteorización de rocas a causa de actividades volcánicas y la combustión minera e industrial que tiene como fin la obtención de energía eléctrica mediante la quema de combustibles fósiles (IDEAM, 2023). El dióxido de azufre y el trióxido de azufre son los óxidos sobresalientes del azufre presentes en la atmósfera. El dióxido de azufre ( $SO_2$ ) se convierte parcialmente a trióxido de azufre ( $SO_3$ ) o, a ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) mediante procesos fotoquímicos o catalíticos en la atmósfera y luego el trióxido de azufre forma ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) con la humedad del aire (Wark y Warner, 2002). Sin embargo, el proceso biogeoquímico está siendo alterado debido a que las industrias saturan el ciclo, sobrepasando los niveles de azufre permisibles emitidos al ambiente ocasionando la contaminación en la atmósfera y en los ecosistemas acuáticos y terrestres (Figura 9).

**Figura 9**

*Ciclo biogeoquímico del azufre.*



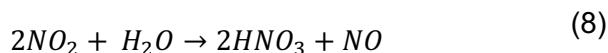
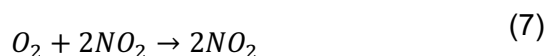
*Nota.* Azufre, elemento incomprendido de la biogeoquímica planetaria

*Fuente.* Tomado de Anda & Souza (2016).

**Fuente emisora de nitrógeno.** El nitrógeno es el elemento más abundante de la atmósfera y la biosfera, en la superficie terrestre se encuentra en forma de nitrógeno molecular ( $N_2$ ) el cual, no puede ser usado por los seres vivos a menos que esté en forma de nitrato ( $NO_3^-$ ) obtenido a partir de la transformación química de óxido nítrico ( $NO$ ) y, en forma de amonio ( $NH_4OH$ ). Los procesos que conducen a la obtención de ( $NO_x$ ) son las actividades microbianas del suelo, específicamente las bacterias fijadoras del nitrógeno que mediante la nitrificación producen óxido nítrico ( $N_2O$ ) el cual es usado como aditivo en algunos combustibles, aportando oxígeno extra que hace que al combustible arder más rápido (Figura 10). De igual manera, el ( $NO$ ) se forma por reacción entre el oxígeno y el nitrógeno a alta temperatura (ecuación 6) (Granados et al., 2010).

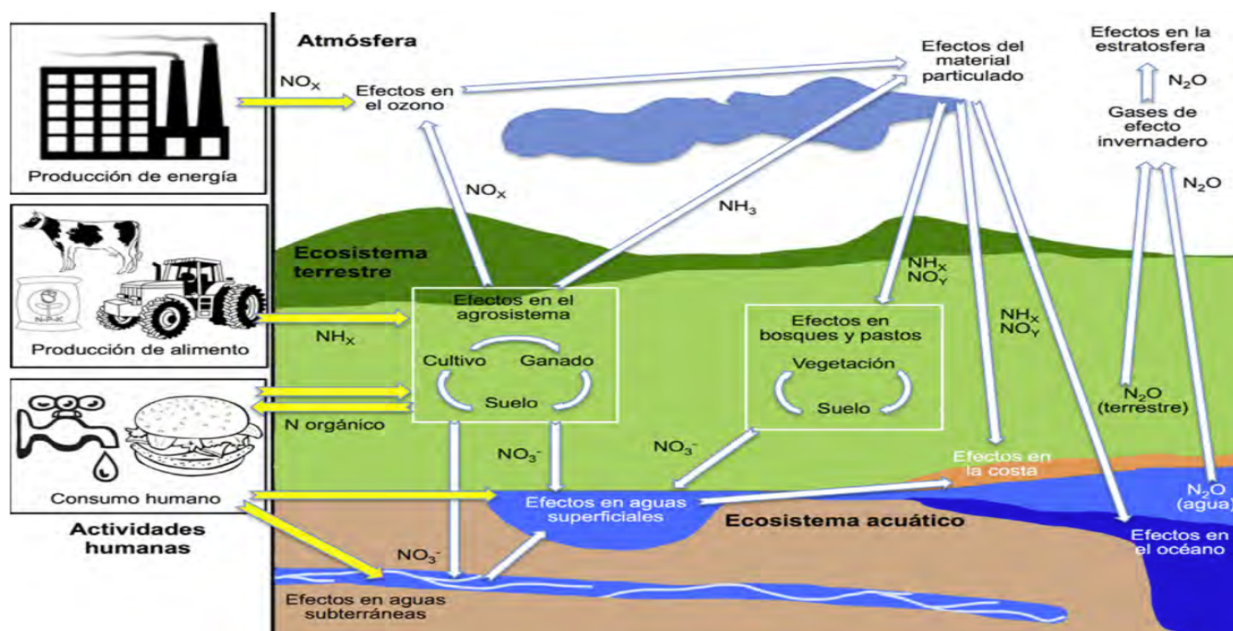


El ( $NO$ ) se oxida con el oxígeno atmosférico (ecuación 7) y este producto en conjunto con el agua reaccionan para producir ácido nítrico (ecuación 8).



**Figura 10**

*La cascada del nitrógeno ocasionada por actividades humanas.*



Fuente. Tomado de Pajares (2016).

**Fuentes antropogénicas.** Estas emisiones son derivadas de las actividades, procesos y acciones desarrolladas por los humanos, las cuales, generan contaminantes a la atmósfera (Tovar y Orjuela, 2017). Entre los principales epicentros de estas alteraciones al medio natural se encuentran:

**Contaminación por automóviles.** Esta emisión proviene de la combustión realizada en los automotores que transitan por los corredores viales y presentan mayor impacto cuando no son supervisadas por los entes gubernamentales de protección ambiental. Las emisiones derivadas de esta combustión comprenden partículas de hidrocarburos (*HC*) que, según Vélez et al., (2010), son contaminantes primarios compuestos de carbono e hidrógeno, emitidos en el procesamiento del petróleo y que pueden ser precursores de cáncer, afectando a la salud. También, se presenta el monóxido de carbono (*CO*), el cual, es un gas incoloro, venenoso que, combinado con la hemoglobina de la sangre, reduce, en última instancia, el flujo de oxígeno necesario para las actividades corporales, llevando a la muerte. El *CO* al reaccionar con otros compuestos en la atmósfera se convierte en dióxido de carbono. Por su parte, el dióxido de azufre (*SO<sub>2</sub>*), reacciona con la humedad para generar lluvia ácida y partículas que afectan las vías respiratorias. Este gas reduce también la eficiencia del catalizador instalado en los vehículos (Wark y Warner, 2002). Otro material particulado emitido a la atmósfera son los Óxidos de nitrógeno (*NO<sub>x</sub>*), precursores del ozono e irritantes de las vías respiratorias; reaccionan con la humedad para formar lluvia ácida (Riveros et al., 2000).

**Contaminación de origen industrial.** De acuerdo a Tovar y Orjuela (2017), se estiman dos sectores industriales de impacto que son precursores de contaminación a la atmósfera, próximos a la zona de estudio, entre estos la industria panelera ubicada en Isnos y la ladrillera Laboyana situada en Pitalito - Huila.

**Industria Panelera.** El Huila es el séptimo departamento productor de panela por número de trapiches, sus principales municipios paneleros son Isnos y San Agustín. Cuenta con 1234 trapiches paneleros, de los cuales solo 10 están adecuadamente tecnificados, 100 tienen solo la tecnificación parcial y 1033 sin tecnificar, a su vez 91 realizan labores con tracción animal por lo que la mayor masa de producción es destinada al autoconsumo (Fedepanela, 2019). En este sentido, la presencia de industrias paneleras artesanales manifiesta una limitada productividad de los cultivos y la necesidad de mejorar la infraestructura de los trapiches paneleros, puesto que, al no contar con tecnologías limpias, escasez en proyectos de capacitación y pocos recursos, se conlleva a que en la elaboración de la panela se realice la combustión de materias primas y materiales derivados del petróleo que aportan el calor en los hornos. Entonces, uno de los mayores problemas ambientales generados por la industria panelera son las cenizas y gases tóxicos, producidos a partir de la combustión incompleta del bagazo húmedo en la cámara de combustión de la hornilla para la generación de energía eléctrica y vapor de agua, conocidos como hollín que a su vez, entran a la atmósfera en forma de óxidos y al retornar a la superficie de la tierra generan daños en la fauna y flora, en la salud humana y en las estructuras o edificaciones (García et al., 2015). Entre las causas de este problema ambiental se encuentra que la producción artesanal de panela se debe al uso de técnicas y modos de fabricación de los productores, quienes de forma empírica trabajan la caña de azúcar y su transformación agroindustrial, con un uso de bajo conocimiento técnico y científico sobre la producción de panela. Como consecuencia de esta actividad, se da la existencia de un manejo inadecuado del proceso de producción de panela de la mano con una inadecuada inversión en tecnologías e infraestructura con características de ser poco amigable y conservacionista para el entorno económico, social y ambiental (Bermudez y Collado, 2019). Además, Con la quema permanente de caña de azúcar se producen miles de toneladas de gas carbónico que aumentan los altos niveles de contaminación atmosférica por las emisiones de compuestos orgánicos volátiles como el benceno, el tolueno y los xilenos emitidos por la producción industrial y el tráfico automotor. El óxido de nitrógeno y el dióxido de azufre que provienen de las emisiones de las industrias, centrales eléctricas, y las quemadas (Montoya, 2011).

**Industria Ladrillera.** Las ladrilleras son consideradas zonas de moldeo y horneado del barro con el fin de obtener ladrillos que posteriormente se utilizarán en las edificaciones. Para la fabricación de estos, es preciso manejar variables como la temperatura, el tiempo de cocción, el tipo de combustible (neumáticos, aserrín, basura electrónica, plásticos, cenizas, aceite, etc.) y, el horno en el cual se producirá, lo que conlleva, a generar diferentes emisiones heterogéneas de contaminantes, puesto que, las tecnologías implementadas son poco efectivas y asertivas. La exposición a estos efectos inicia desde el aire, aunque pueden encontrarse procesos de deposición atmosférica en el suelo, sedimentos y cuerpos de agua. Según Berumen et. al. (2021): Las emisiones reportadas de contaminantes en las ladrilleras se relacionan con monóxido de carbono (CO), de material particulado menor a 2.5 y 10 micrómetros (PM2.5 y PM10), compuestos orgánicos volátiles (COV), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de sulfuro (SO<sub>2</sub>), metales pesados, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), bifenilos policlorados (BPC), dioxinas, entre otras.(p.100)La fabricación de ladrillos en Colombia concentrada en las zonas rurales permite a un número considerable de familias tener un sustento económico, pero conviene advertir que, algunas de estas industrias son microempresas informales que realizan una producción de forma artesanal incumpliendo los protocolos y normas ambientales que se rigen en Colombia y producen considerables daños al emitir gases tóxicos a la atmósfera. En el Huila, en el municipio de Pitalito, lugar próximo a la zona agustiniana se encuentra la ladrillera Laboyana cuyo método de producción consiste en la combustión o cocción de productos como leña, llantas, madera, plásticos o textiles que al ser incinerados ocasionan la emisión al ambiente de sustancias como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, partículas sólidas y compuestos orgánicos volátiles (Cortés et al., 2017).

## 5. Metodología

En el siguiente apartado se presenta la metodología que se desarrolló en el proyecto de investigación la cual se dividió en 3 etapas. Esta se abordó de manera cualitativa y cuantitativa por lo que el enfoque a emplear es mixto, lo que permitió realizar una recolección, análisis y vinculación de datos para tener una percepción más amplia y profunda del estudio (Hernández et al., 2014).

El diseño mencionado, según Hernández et al., (2006), son investigaciones que recolectan datos en un único tiempo y momento, para describir variables y analizar su interrelación, puesto que, son estudios que comprenden una exploración inicial al ser generalmente en panoramas nuevos o poco conocidos. Además, en lo que concierne a la descripción, indaga la incidencia de las modalidades o niveles de una o más variables de una población. Por lo anterior, este diseño se ajusta perfectamente al trabajo de grado realizado.

En relación a lo mencionado, el estudio se llevó a cabo de manera secuencial ya que se aplicó un enfoque cualitativo (al recolectar la información obtenida mediante reconocimiento de la zona de estudio, toma de muestras fisicoquímicas y salida de campo) y finalmente, se abordó la parte cuantitativa al analizar los datos mediante índices de pH, iones precursores de sulfatos y nitratos presentes en las muestras y llevar a cabo esta investigación.

A continuación, se describen las etapas de la investigación.

### 5.1 Primera Etapa

#### **Obtención de Información**

Se hizo una indagación de las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio para determinar las variables a evaluar.

Seguidamente, se diligenciaron los permisos de acceso al parque y autorización por parte del Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH) en la página web oficial [https://www.icanh.gov.co/tramites\\_arqueologicos/intervenciones\\_investigacion\\_20427](https://www.icanh.gov.co/tramites_arqueologicos/intervenciones_investigacion_20427) para iniciar la investigación e instalación de los equipos de muestreo con la autoridad encargada del cuidado de los parques.

Para la medición y obtención de datos de los parámetros temperatura, dirección y velocidad del viento, precipitación, humedad relativa e índice UV, se utilizó la aplicación TWC Product and Technology LLC asociado a The Weather Channel® la cual permitió la toma de valores en las diversas ubicaciones de las zonas a evaluar.

A continuación, se describen los parámetros mencionados:

**Temperatura.** De acuerdo a los climas en Colombia y basados en el análisis de la geometría Tierra – Sol, se establecieron franjas para determinar el comportamiento de las temperaturas con la clasificación de Francisco José de Caldas ideada en 1802, en la cual, se estima el factor térmico con respecto a la variación de la temperatura con la altura. Los datos obtenidos conducen a la identificación de los “pisos térmicos”. (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2017) De esta manera, los valores en grados centígrados (°C) se representan en la siguiente tabla:

**Tabla 1**

*Clasificación climatológica de Caldas en grados centígrados (°C)*

Piso térmico	Rango de elevación	Rango de temperatura
Cálido	0 a 800	$T \geq 24^{\circ}\text{C}$
Templado	800 a 1800	$24^{\circ}\text{C} > T > 18^{\circ}\text{C}$
Frío	1800 a 2800	$18^{\circ}\text{C} > T > 12^{\circ}\text{C}$
Muy frío	2800 a 3700	$12^{\circ}\text{C} > T > 6^{\circ}\text{C}$
Extremadamente frío	3700 a 4700	$6^{\circ}\text{C} > T > 0^{\circ}\text{C}$
Nival	>4700	$T < 0^{\circ}\text{C}$

*Nota.* Los valores establecidos se describen en el libro Atlas Climatológico de Colombia capítulo 9

*Fuente:* (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2017)

**Velocidad del Viento.** Por definición, el viento es el producto de las diferencias de presión atmosférica junto con las diversas temperaturas del aire. Este puede medirse a partir de su dirección y velocidad en diferentes espacios a una altura de 10 metros sobre el suelo de terreno descubierto. Partiendo de una magnitud de velocidad como distancia recorrida por unidad de tiempo, se tiene que, al analizar la escala de Beaufort (ver tabla 2) quien aglomera las características del viento en función de su velocidad (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2006), fue posible determinar y contrastar los datos obtenidos en los puntos de muestreo de los parques arqueológicos.

**Tabla 2**

*Escala Beaufort para la fuerza del viento, con indicación de las velocidades equivalentes en metros por segundo*

Escala	Velocidad Promedio en m/s	Características
0	0.1	Calma; el humo sube verticalmente.
1	0.9	Ventolina; la dirección se muestra por la dirección del humo. Las veletas no alcanzan a moverse.
2	2.4	Brisa muy débil; se siente el viento en la cara, las hojas de los árboles se mueven; las veletas giran lentamente.
3	4.4	Brisa débil; las hojas y las ramas pequeñas se mueven constantemente; el viento despliega las banderas.
4	6.7	Brisa moderada; se levantan el polvo y los papeles del suelo; se mueven las ramas pequeñas de los árboles.
5	9.4	Brisa fresca: los árboles pequeños se mueven; se forman olas en las aguas quietas.
6	12.3	Brisa fuerte; se mueven las ramas grandes de los árboles; los paraguas se mantienen con dificultad.
7	15.5	Viento fuerte; los árboles grandes se mueven; se camina con dificultad contra el viento.
8	19.0	Viento duro; se rompen las ramas de los árboles; no se puede caminar en contra del viento.
9	22.6	Viento muy duro; el viento arranca tejados y chimeneas; se caen arbustos; ocurren daños fuertes en las plantaciones.



10	26.4	Temporal huracanado; raro en los continentes; arranca los árboles y las viviendas sufren daños muy importantes.
11	30.5	Borrasca.
12	32.7	Huracán.

---

*Nota.* Los valores establecidos se describen en el libro Atlas del Viento y Energía Eólica de Colombia – anexo 2 MEDICIÓN, PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y RED DE ESTACIONES QUE MIDEN VIENTO EN COLOMBIA

*Fuente:* (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2006)

**Precipitación.** De acuerdo al Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales del IDEAM (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2005), la precipitación comprende cualquier estado en el que el agua descienda desde las nubes hasta la superficie terrestre. Este fenómeno se relaciona con la circulación de aire en la atmósfera, la presión, temperatura y presencia de humedad, por lo que, su intensidad varía de acuerdo a diferentes lugares de la Tierra.

Para la obtención de datos en las salidas de campo de este indicador se hizo uso de la aplicación TWC Product and Technology LLC asociado a The Weather Channel® cuyos resultados son obtenidos en milímetros caídos por metro cuadrado (mm), consecutivamente se correlacionaron los resultados de los boletines climatológicos emitidos por el IDEAM.

**Humedad Relativa.** La humedad es un fenómeno meteorológico derivado de los sucesos ocurridos en los espejos de agua de la Tierra como son la evaporación de los mares, océanos y ríos. Este tiene como objetivo analizar el porcentaje que comprende la cantidad de vapor de agua que tiene el aire y su límite a una temperatura y presión determinada, tal como lo afirma el IDEAM en el Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2005). En esta investigación se tomaron los datos de la aplicación TWC Product and Technology LLC asociado a The Weather Channel®. La cual registra los datos en el punto exacto del muestreo en cada una de las zonas a evaluar.

**Índice UV.** La radiación UV es comprendida como la intensidad máxima de la energía solar ultravioleta por unidad de superficie, es medida en  $\frac{w}{m^2}$ , esta emisión se transmite a la Tierra mediante ondas electromagnéticas de variadas longitudes y es utilizada para diversos propósitos. La escala para la medición de este espectro puede ir de 1 a 15, en donde los valores mínimos son considerados no dañinos y los valores superiores a 10 son entendidos como extremos o muy peligrosos (ver tabla 3) (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2005). Durante la toma de muestras en las zonas de estudio se utilizó la aplicación TWC Product and Technology LLC asociado a The Weather Channel® para determinar el índice UV propagado en el área.

**Tabla 3**

*Categoría de exposición a índices de rayos ultravioleta*

Intervalo de valores del iuv	Categoría de exposición
1 – 2	Baja
3 – 5	Moderada
6 – 7	Alta
8 – 10	Muy alta
11 – 15	Extremadamente alta

*Fuente:* (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, 2005).

## 5.2 Segunda Etapa

### ***Fase Experimental***

Se hizo un recorrido por cada una de las zonas de estudio y se tomaron las coordenadas geográficas de:

- 1) Altos de las Piedras – Isnos ( $1^{\circ} 58' 15.37''$  N –  $76^{\circ} 12' 03.06''$  W) Altura 1832 m.s.n.m.
- 2) Altos de los Ídolos – Isnos ( $1^{\circ} 55' 00.49''$  N –  $76^{\circ} 14' 36.02''$  W) Altura 1783 m.s.n.m.
- 3) La Pelota y Purutal – San Agustín ( $1^{\circ} 54' 46.80''$  N –  $76^{\circ} 17' 40.95''$  W) Altura 1860 m.s.n.m.
- 4) El Tablón – San Agustín ( $1^{\circ} 53' 57.1''$  N –  $76^{\circ} 16' 30.5''$  W) Altura 1750 m.s.n.m.
- 5) La Chaquira - San Agustín ( $1^{\circ} 54' 10.95''$  N –  $76^{\circ} 16' 02.81''$  W) Altura 1552 m.s.n.m.
- 6) El parque arqueológico San Agustín - San Agustín ( $1^{\circ} 53' 14.03''$  N –  $76^{\circ} 17' 43.37''$  W) Altura 1730 m.s.n.m.

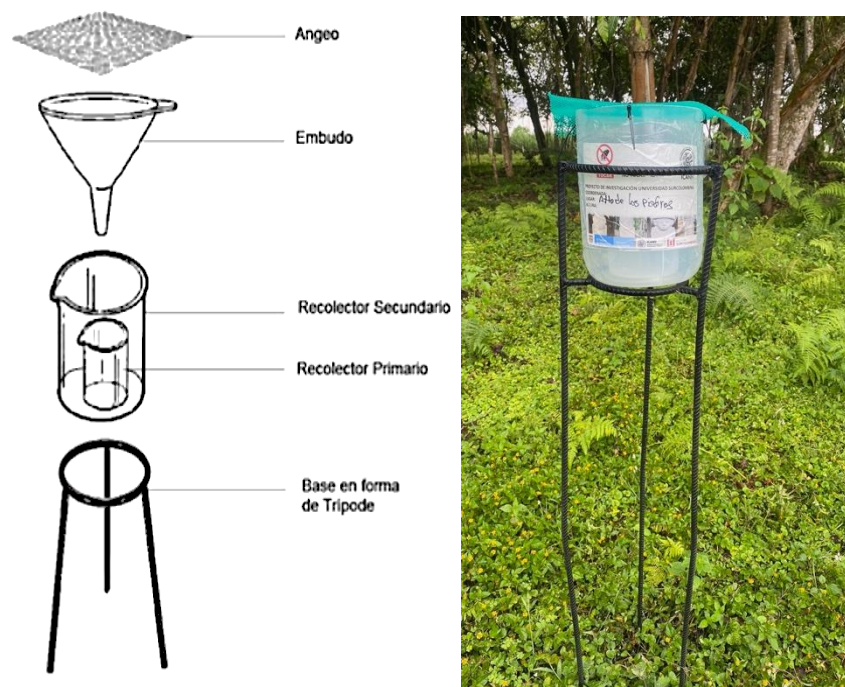
Posteriormente, se identificaron los puntos más representativos donde se ubicaron las estaciones de muestreo in situ de pH del agua lluvia y monitoreo de las precipitaciones, se tuvo en cuenta que estos montajes no interfirieran con las actividades cotidianas del parque y no estuvieran expuestas a acciones humanas o naturales que alteraran el proceso de obtención de muestras.

Para la instalación de las estaciones de muestreo se tuvo en cuenta las características de diseño de un pluviómetro el cual comprende los siguientes materiales:

Una base en forma de trípode de acero inoxidable, un embudo de plástico cubierto con aneque que actúa en forma de filtro evitando cualquier interferencia como hojas, insectos u objetos de gran tamaño que puedan afectar la composición de la muestra, este conduce el agua lluvia a un tercer elemento que es un colector de plástico de 500 mL, donde llega la primera fracción de la precipitación, el último elemento es un recipiente de plástico de 3 L, el cual contiene el anterior envase y cumplirá la función de colector secundario (Tovar y Orjuela, 2017) (figura 11).

## Figura 11

Montaje de un pluviómetro casero para la obtención de muestras en cada estación.



Fuente. Tomado de Tovar y Orjuela, (2017).

*Nota.* La imagen derecha es la representación del montaje final in situ.

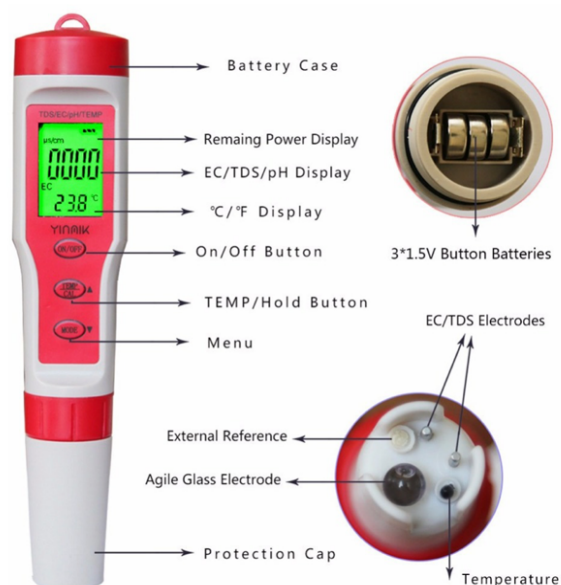
Para las salidas de campo se consultó la información meteorológica disponible en el IDEAM, a través de la red de estaciones meteorológicas. Puesto que, el conocimiento del estado del tiempo en los municipios de San Agustín e Isnos permitió tener cierta certeza de un evento de lluvia.

Las muestras se recolectaron entre los meses de enero y mayo del año 2022, la constancia de la obtención de la muestra dependió de las precipitaciones y el volumen adquirido. Seguidamente, para el análisis fueron enviadas a los laboratorios de aguas (Laboratorio Clínico de Patología y Ambiental Diagnosticamos S.A.S. y Laboratorio Agroambiental de suelos y Aguas) procurando preservar la muestra y no generando alteraciones significativas.

En campo se tomó registro del potencial de hidrógeno (pH), conductividad, total de sólidos disueltos y temperatura de cada muestra con ayuda del equipo portátil EZ-9908 (ver figura 12), sin embargo, las muestras fueron preservadas, embaladas para su correspondiente análisis en laboratorio en la ciudad de Neiva – Huila.

**Figura 12**

*Equipo portátil de medición de parámetros fisicoquímicos*



*Nota.* El equipo de medición de calidad de agua portátil con Rango de medición: pH: 0,00-14.00pH; TDS: 0-19990ppm; CE: 0-19990  $\mu\text{S}/\text{cm}$

*Fuente.* Tomado del manual de usuario físico del equipo

De este modo, a partir de los niveles de acidez (ver tabla 4) de las precipitaciones se ha establecido una relación con la clasificación universal de pH según el IDEAM (S.F).

**Tabla 4**

*Clasificación de agua lluvia según el pH*

pH	Clasificación de la lluvia
pH > 5,6	Lluvia no ácida
4,7 < pH ≤ 5,6	Lluvia ligeramente ácida
4,3 < pH ≤ 4,7	Lluvia medianamente ácida
pH ≤ 4,3	Lluvia fuertemente ácida

*Nota.* Los valores observados se basan en las mediciones que el IDEAM realiza en sus estudios para la clasificación de la lluvia.

*Fuente:* IDEAM (S.F.)

Durante la recolección de las muestras, los recipientes de muestreo fueron rotulados con el nombre de cada zona de estudio, fecha y su respectiva preservación para luego ser refrigerados y transportados a la ciudad del laboratorio. En el laboratorio se realizaron los siguientes procedimientos:

**Concentración de Iones Precusores Nitratos y Sulfatos.** Para la determinación de las concentraciones se emplearon los siguientes métodos de acuerdo a los laboratorios, estableciéndose de la siguiente manera:

***Laboratorio Clínico de Patología y Ambiental Diagnosticamos S.A.S.***

**Tabla 5**

*Valores de cuantificación para análisis de muestras*

Parámetro	Técnica analítica	Límite de cuantificación
Conductividad*	Electrométrico SM 2510 B	No Aplica
Nitratos***	Espectrofotométrico Salicilato de Sodio. Rodier J.	4,43 mg NO <sub>3</sub> -/L
pH*	Electrométrico SM 4500-H+ B	No Aplica
Sulfatos*	Turbidimetrico SM 4500-SO4 E	10 mg/L

*Nota.* los parámetros con \* se encuentran acreditados por el IDEAM según resolución 0441 del 7 de junio de 2020 para aguas crudas y residuales; Los parámetros con \*\*\* se realizan en el laboratorio, avalados por el Ministerio de Protección Social bajo Res. 2625 de 2019 pág. 6.

*Fuente.* Laboratorio Clínico de Patología y Ambiental Diagnosticamos S.A.S

***Laboratorio Agroambiental de suelos y Aguas***

**Tabla 6**

*Técnicas para el análisis de muestras*

Parámetro	Técnica analítica
pH	pH (Met. SM 4500 H+B)*
Conductividad eléctrica	Conductividad eléctrica (Met. SM 2510 B)*
Sulfatos	Sulfatos (Met. SM 4500 SO4 E)*
Nitratos	Nitratos (Met. SM 4500-NO <sub>3</sub> - D)*

*Nota.* los parámetros con \* se encuentran acreditados por el IDEAM según resolución 0441 del 7 de junio de 2020 para aguas crudas y residuales.

*Fuente.* Laboratorio Agroambiental de suelos y Aguas

**Conductividad.** Se empleó un conductímetro para determinar la concentración de los iones precursores de nitratos y sulfatos, así como de la conductividad y pH se manejaron los parámetros fisicoquímicos presentados en la tabla 7:

**Tabla 7**

*Valores de referencia para la clasificación de parámetros fisicoquímicos*

Parámetro	Valor	Característica
pH	< 5,6	Lluvia ácida
	5,6	Valor normal de lluvia
	> 5,6	Lluvia básica
Conductividad	> 20 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Lluvia ácida
Sulfatos	1 - 3 mg/L	Zona de baja contaminación
	3 - 8 mg/L	Zona de alta contaminación
Nitratos	0,4 -1,3 mg/L	Zona de baja contaminación
	1,3 – 3 mg/L	Zona de alta contaminación

*Fuente. Antolinez y Díaz (2003).*

**Determinación de los Efectos de la Lluvia Ácida Sobre la Morfología de las Estatuas Prehispánicas de la Cultura Agustiniana.** El deterioro de la roca está dado por dos procesos: la meteorización, proceso químico generado por la interacción de la roca con el ambiente y el intemperismo, proceso de degradación física.

Para el análisis de los efectos sobre las estatuas se hizo una identificación de los deterioros de la roca caracterizando las fisuras y desprendimientos. Se tomó registro fotográfico, iniciando el proyecto y después de finalizada la toma de muestras con las observaciones o modificaciones que se expresan durante el trabajo práctico.

Por otra parte, se realizaron encuestas (Instrumento de validación) durante todo el desarrollo de la investigación en los parques arqueológicos, a turistas, personas de la zona y

trabajadores del parque con el objetivo de analizar las observaciones interpretadas por las personas, frente a los cambios morfológicos en las estatuas con el paso del tiempo.

***Evaluación de la percepción y grado de afectación de las esculturas agustinianas.***

Para la elaboración del instrumento de medición y análisis cualitativo de los posibles efectos de la lluvia sobre la morfología de las esculturas agustinianas consideradas patrimonio histórico de la humanidad se realizó una revisión bibliográfica y se establecieron sets de preguntas relacionadas al tema.

***Cálculo de tamaño de la muestra para aplicación del instrumento.*** El número de personas encuestadas (Tamaño de la muestra) se calculó a partir del conocimiento de la población total del área de estudio seleccionado, teniendo en cuenta trabajadores del parque, guías turísticos, residentes de la zona, y demás personal vinculado e implicado (turistas, extranjeros).

A través del reconocimiento de campo se realizó un inventario del número de personas que conforman la zona objeto de estudio. Este dato se consideró como el tamaño de la población (N). Para establecer el tamaño de la muestra y hacer el ajuste de este dato se utilizó la metodología planteada por Hernández (2010), como se indica en la ecuación 1 y posteriormente en la ecuación 2, este dato fue el tamaño óptimo de la muestra en esta investigación:

$$n_0 = \frac{Z^2 * p * q}{e^2} \quad (1)$$

Donde:

$n_0$  = tamaño de la muestra sin ajustar

Z = Corresponde a 1.96 para un nivel de confianza del 95 %. Los valores

Más usados son para 90 %, 1.645; 95%, 1.96 y 99%, 2.575

p = Proporción de la población que posee las características de interés: 0.5

q = 1 - p

e = Error estándar o error tolerable para la medición (3% = 0.03)

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N}} \quad (2)$$

Donde:

n = tamaño óptimo de la muestra

$n_0$  = tamaño de la muestra sin ajustar

N = tamaño de la población



### **Fase de análisis de la información recolectada**

**Validez y consistencia del instrumento.** Las preguntas diseñadas para el instrumento fueron sometidas a una “prueba piloto” para evaluar el grado de aceptación del público basado en las respuestas generadas. Si hubiese sido requerido la reestructuración del instrumento, se realizaría una reforma teniendo en cuenta las opiniones de expertos en el tema a través de Sesiones Delphi, de acuerdo a la metodología usada por Castro & Ramírez (2009).

Para la validación del instrumento se utilizó el análisis de consistencia interna calculado por el coeficiente de Alfa de Cronbach. Este método de medición de la confiabilidad de un instrumento, ha sido utilizado en investigaciones realizadas por Álvarez et al. (2006), Meliá, et al. (1990), Ledesma et al. (2002) y Oviedo et al. (2005), citados por Castro (2015), para darle fiabilidad al instrumento de medición empleado en la recolección de la información.

El cálculo del Coeficiente de Alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) viene dado por la ecuación (3):

$$\alpha = \left[ \frac{k}{k-1} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{\sum S_t^2} \right] \quad (3)$$

Donde:

$S_i^2$  = La suma de varianzas de cada ítem.

$S_t^2$  = la varianza del total de filas (puntaje total de los encuestados)

$k$  = el número de preguntas o ítems.

Los valores de confiabilidad del instrumento se contrastaron con lo expuesto por Christopher (2007) citado por Castro, Cerquera y Escobar (2015) y descrito a continuación en la tabla 8:

**Tabla 8**

*Valores de Criterio de Confiabilidad*

Criterio	Valor
No es confiable	-1 a 0
Baja confiabilidad	0.01 a 0.49
Moderada confiabilidad	0.5 a 0.75
Fuerte confiabilidad	0.76 a 0.89
Alta confiabilidad	0.9 a 1

*Nota.* Tomado de Castro, Cerquera y Escobar (2015)

**Análisis estadístico.** Se recolectó la información de los instrumentos aplicados y de los 6 puntos en los que se realizó el monitoreo, estos son: Altos de Las Piedras, Altos de Los Ídolos, La Pelota y Purutal, El Tablón, La Chaqira y Parque Arqueológico de San Agustín. Se tabularán los datos en Microsoft Excel. Se aplicó el análisis estadístico para cada variable, obteniendo promedio, desviación estándar, coeficientes de variación y correlación, valores mínimos y máximos necesarios, todo con el fin de afianzar los resultados.

### 5.3 Tercera Etapa

#### ***Procesamiento y Análisis de la Información***

A partir de la información recopilada, se realizó una caracterización de las condiciones meteorológicas como precipitación, humedad relativa, temperatura, índice UV, velocidad y dirección del viento para la investigación; el comportamiento espacial de esas variables se efectuó a través del diseño de gráficas tomadas de la página inicial del IDEAM en la sección de informes mensuales de precipitación.

## 6. Resultados y Discusión

### 6.1 Análisis de Parámetros Meteorológico

La variabilidad meteorológica en el estudio se toma como prioridad para el desarrollo de la investigación, teniendo en cuenta las estaciones dentro del área del proyecto de estudio, que por medio de la página web oficial del IDEAM, se logra ingresar a las consultas y descargas de datos Hidrometeorológicos (<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>), se precisan y contrastan los datos obtenidos In situ con ayuda del programa de meteorología TWC Product and Technology LLC asociado a The Weather Channel® y (<https://weather.com/es-ES/tiempo/hoy/I/14cd3747a7e215a43d6412e89d2620f22606fbaf8d507886cd5587ca8fb2863b>) representados en las tablas 9 hasta la 21 con las estadísticas generadas por el IDEAM dentro de su plataforma web.

La lista de estaciones de las cuales se descargaron los datos de meteorología es:

- San José de Isnos, código 21010050, categoría Pluviométrica.
- Betania TV, código 21010230, categoría Pluviométrica.
- Parque Arqueológico - AUT, código 21015030, categoría Climática Principal.

A continuación, se presenta el historial meteorológico desde el mes de enero hasta el mes de mayo del año 2.022.

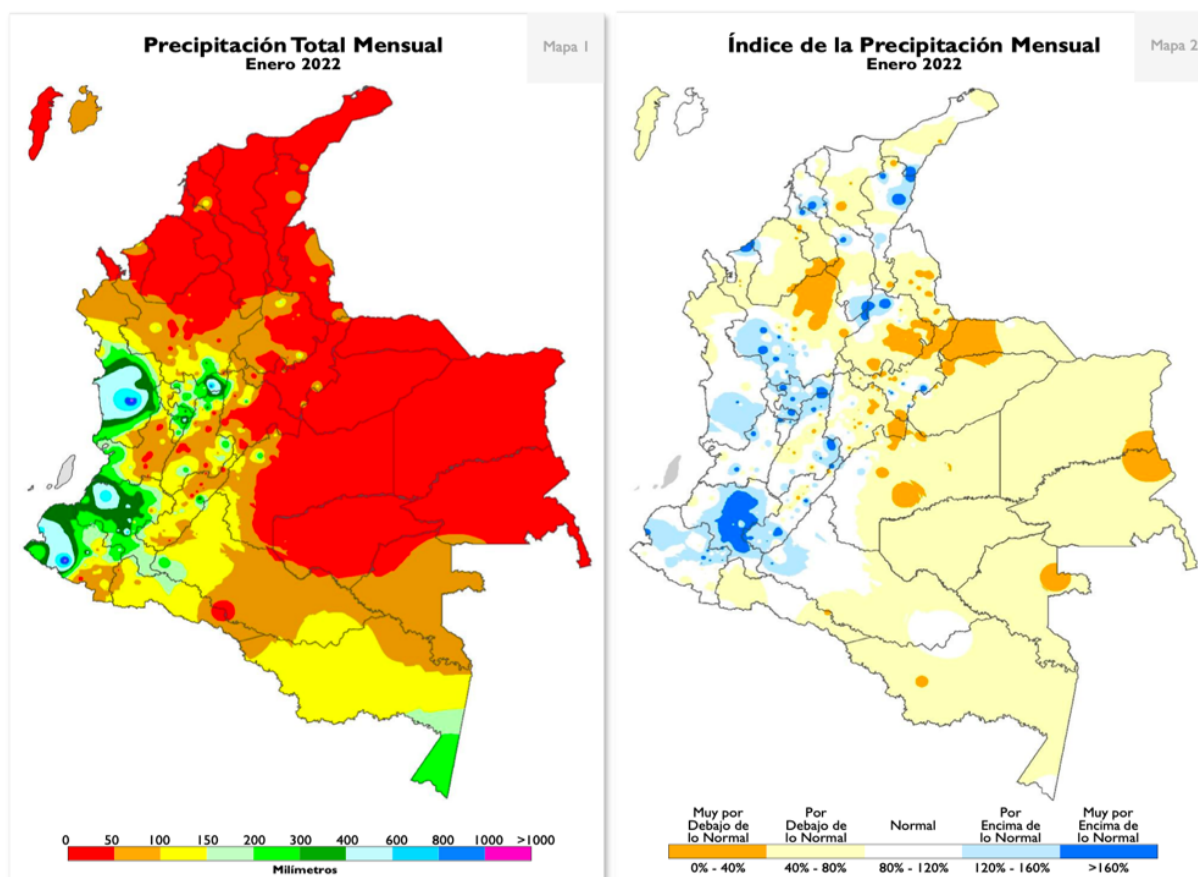
#### **Enero**

De acuerdo al boletín climatológico del IDEAM para el mes de enero se presentaron condiciones mayormente secas en el país, relacionadas con el debilitamiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) a mediados y finales del mes, sumado al desplazamiento de este sistema al sur por cuenta de un incremento en los alisios del noreste, que, además, intensificó los chorros de la Orinoquía y el Caribe. Se registraron excesos de precipitación en la región Andina principalmente, mientras que en la región Caribe y la Orinoquía las lluvias estuvieron por debajo de lo normal. (boletín climatológico enero 2022 del IDEAM)

Dentro del área de estudio se presenta un 120% de precipitación por encima de lo normal, esto quiere decir que el número de lluvias estuvo en un rango de 8 a 16 días, valor que se evidencia en la figura 13 teniendo en cuenta que este rango está determinado por promedios históricos desde el año 1981 hasta 2010 de acuerdo al IDEAM.

**Figura 13**

*Precipitación total mensual para el mes de enero*



*Nota.* En la imagen derecha se presentan los días de precipitación registrados del mes de enero y al lado izquierdo los días anormales en las áreas de precipitación para el mismo mes.

*Fuente.* Tomado del boletín climatológico enero 2022 del IDEAM

Los resultados obtenidos en el momento de la toma de la muestra para los diferentes puntos, se registran en la tabla 9. Estos datos establecen una relación muy estrecha con los ya referenciados por IDEAM, observando la figura 14 se determina que los milímetros registrados son de 13 mm en promedio para todas las zonas, contrastando con los datos de la figura 13, lo que indica que los milímetros de lluvia son 208 en el mes de enero, al multiplicar el valor de la precipitación en el día de la toma de muestra por el número de días de lluvia registrado en el IDEAM.

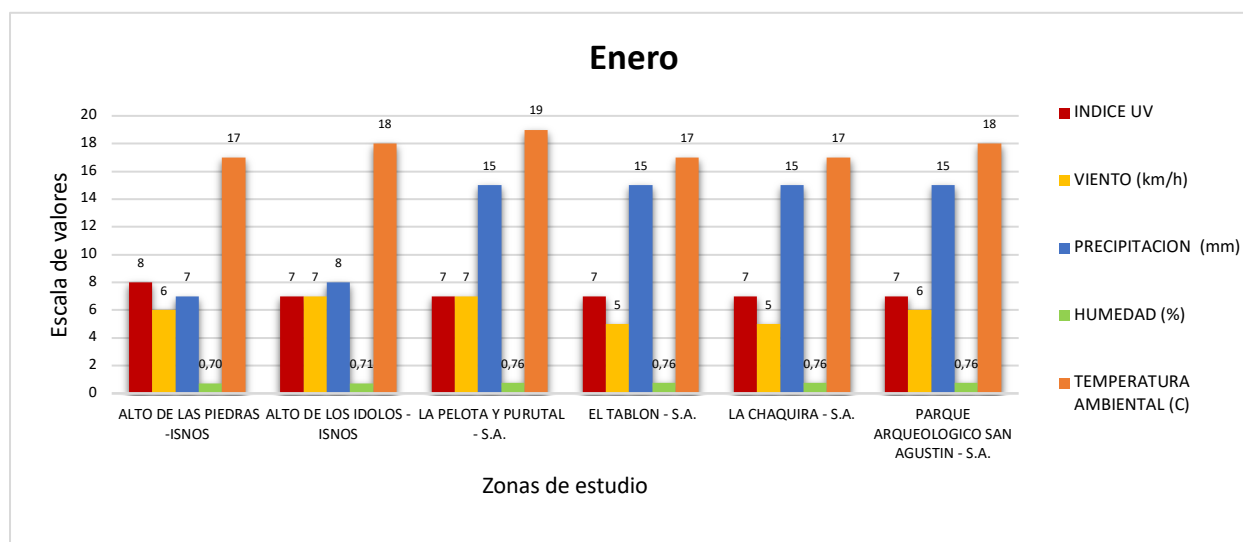
**Tabla 9**

*Variables ambientales In situ para el mes de enero*

Parámetros Puntos	Índice uv	Viento (km/h)	Precipitación (mm)	Humedad (%)	Temperatura ambiental (c)
Alto de las Piedras -Isnos	8	6	7	0,70	17
Alto de los Ídolos - Isnos	7	7	8	0,71	18
La Pelota y Purutal - S.A.	7	7	15	0,76	19
El Tablón - S.A.	7	5	15	0,76	17
La Chaquira – S.A.	7	5	15	0,76	17
Parque Arqueológico San Agustín - S.A.	7	16	15	0,76	18

**Figura 14**

*Valores graficados de variables ambientales In situ para el mes de enero*



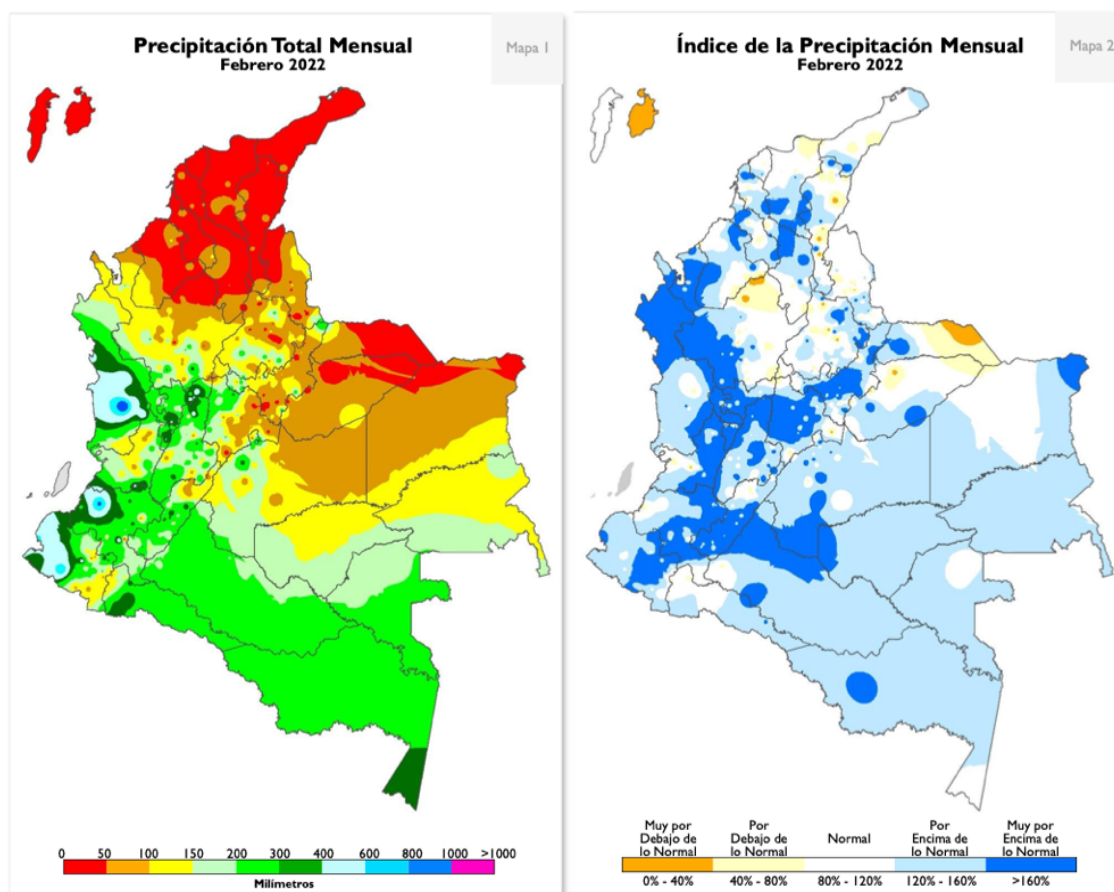
Observando la figura 14 se establece que a medida que la precipitación aumenta, la humedad en las diferentes zonas de estudio es directamente proporcional a esta variable; así mismo, el índice de radiación UV es constante en las zonas de San Agustín e Isnos con un intervalo entre 7 y  $8 \frac{w}{m^2}$ . Con respecto a la velocidad del viento se evidencia una constante en todas las zonas de estudio al igual que la variable de temperatura.

## Febrero

Los cambios constantes en el clima generan variabilidad en las mediciones ambientales, dentro del territorio colombiano se presentan durante el año diferentes sucesos climáticos y para el mes de febrero es característico el fenómeno La Niña afectando al sector de la Orinoquia; sin embargo, dentro del boletín mencionado por el IDEAM (ver figura 15) se esperaba que para el mes de febrero los frentes fríos del atlánticos llegasen de acuerdo a lo pronosticado, pero se presentaron por debajo de lo normal generando condiciones inestables en las temperaturas y precipitaciones. (Boletín climatológico febrero 2022 del IDEAM)

### Figura 15

*Precipitación total mensual para el mes de febrero*



*Nota.* En la imagen derecha se presentan los días de precipitación registrados del mes de febrero y al lado izquierdo los días anormales en las áreas de precipitación para el mismo mes.

*Fuente.* Tomado del boletín climatológico febrero 2022 del IDEAM

En el mes de febrero la precipitación se presenta un 160% más por encima del promedio (ver figura 15) a raíz de los vientos fríos del Atlántico provocando rangos de lluvia entre 200 y 300 milímetros mensuales y que en contraste con la tabla 10 en la cual los resultados se generan con ayuda de la aplicación meteorológica TWC Product and Technology LLC asociado a The Weather Channel® es evidente que este fenómeno presenta en las zonas de la Pelota y Purutal, el Tablón y Las Chaquira.

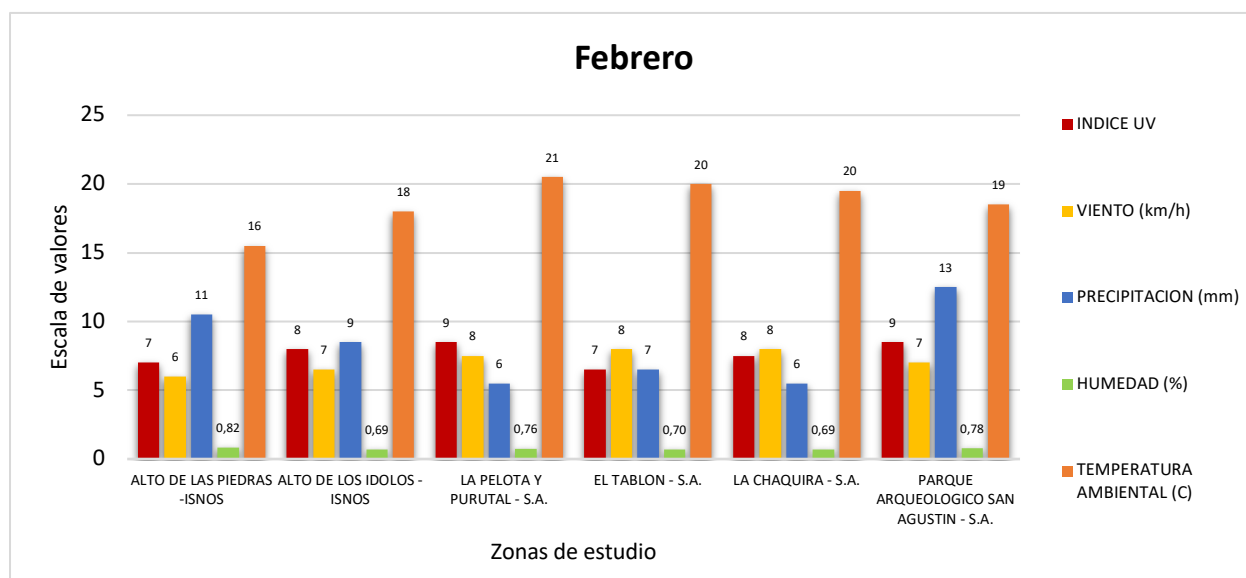
**Tabla 10**

*Variables ambientales In situ para el mes de febrero*

Parámetros Puntos	Índice uv	Viento (km/h)	Precipitación (mm)	Humedad (%)	Temperatura ambiental (c)
Alto de las Piedras - Isnos	7	6	11	0,82	16
Alto de los Ídolos - Isnos	8	7	9	0,69	18
La Pelota y Purutal - S.A.	9	8	6	0,76	21
El Tablón - S.A.	7	8	7	0,70	20
La Chaquira – S.A.	8	8	6	0,69	20
Parque Arqueológico San Agustín - S.A.	9	7	13	0,78	19

**Figura 16**

Valores graficados de variables ambientales In situ para el mes de febrero



En la figura 16 se observa que, frente al parámetro de índice UV, este presenta un rango entre 7 y 9  $\frac{w}{m^2}$  en las diferentes zonas de muestreo en San Agustín e Isnos, este valor indica que la radiación emitida por el sol es alta para la salud de las personas. Por otra parte, la velocidad del viento propagada en las zonas durante el muestreo refleja mayor fuerza en la Pelota y Purutal, el Tablón y la Chaquira. Observando las variables de precipitación y humedad se expresa mayor lluvia en el Alto de las Piedras y en el Parque Arqueológico de San Agustín, por lo que el índice de humedad también aumenta en estos puntos. En cuanto a la temperatura, predomina un ambiente templado con valores entre 16 y 21 °C.

### Marzo

Para este mes el IDEAM pronosticó días de lluvias anormales (Boletín climatológico marzo 2022 del IDEAM), muy por encima de lo pronosticado, este valor se evidencia entre los días 7 a 13 del mes; sin embargo, el resto del mes como se observa en la figura 17 en la parte derecha, en el índice de precipitación mensual, se encuentra un rango normal en aproximadamente 80% a 120%.

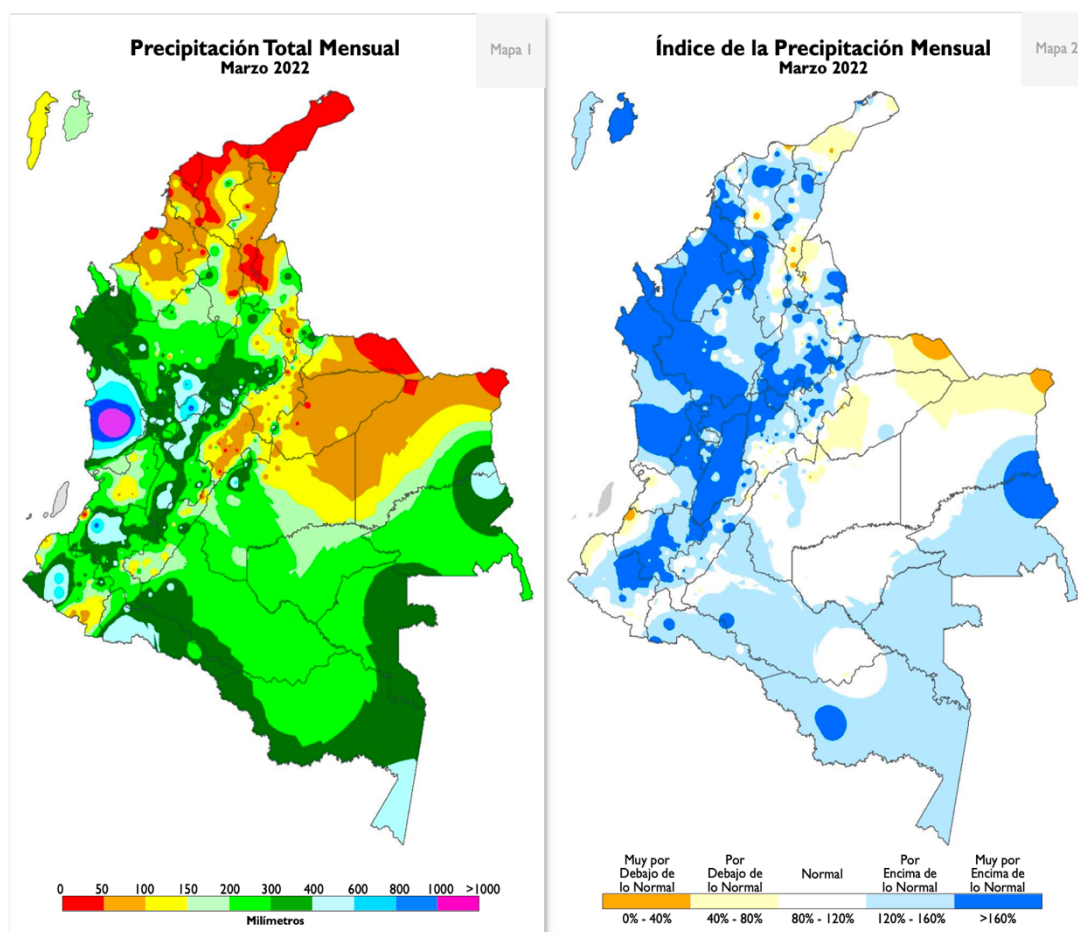
Los ponderados que toma de referencia el IDEAM corresponde a los comprendidos entre 1981 y 2010, a partir de este, se generan estadísticas mostrando una precipitación mensual encontrando que para el área de estudio en el mes de marzo tan solo se presentaron entre 100 y 150 milímetros.



En la tabla 11 se referencian los datos obtenidos en el mes de marzo con la aplicación TWC Product and Technology LLC asociado a The Weather Channel®, logrando establecer diferencias significativas desde el inicio del mes hasta el final, pues en contraste con los pronósticos presentados en la figura 17, la precipitación se muestra descendiente para el Parque Arqueológico de San Agustín, dicha zona está más cerca al casco urbano del municipio, en el cual, algunos factores que provocaron esta anomalía fueron los vientos que se presentaron al norte del país, el cual, generó un desplazamiento masivo de nubes y provocó un índice de UV bajo.

### Figura 17

*Precipitación total mensual para el mes de marzo*

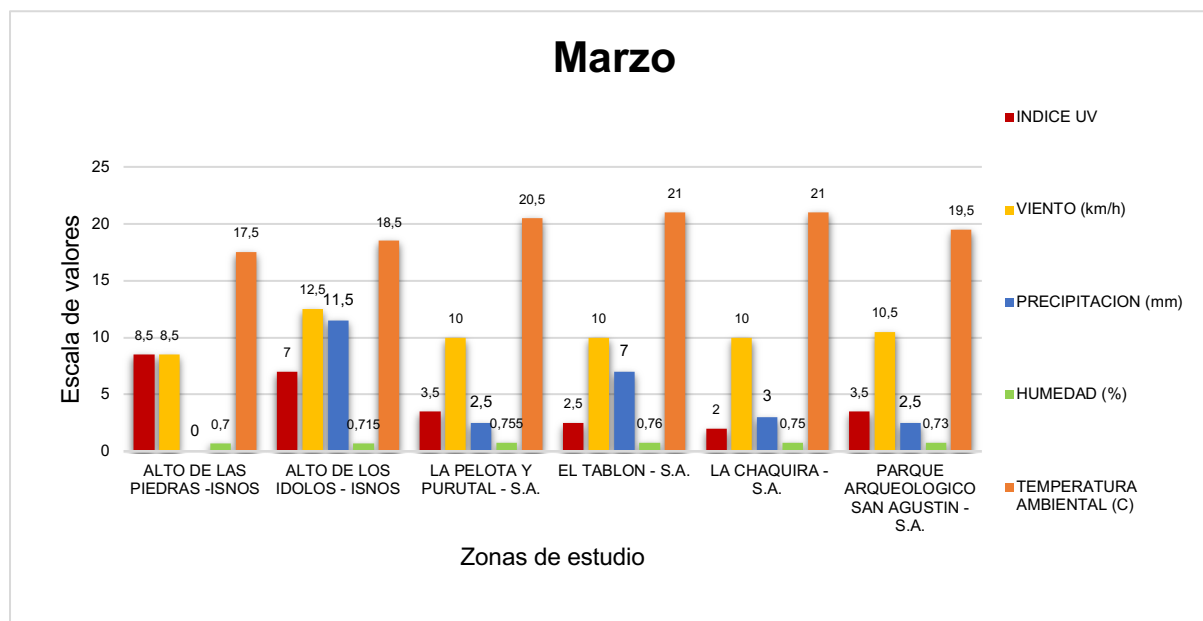


*Nota.* En la imagen derecha se presentan los días de precipitación registrados del mes de marzo y al lado izquierdo los días anormales en las áreas de precipitación para el mismo mes.

*Fuente.* Tomado del boletín climatológico marzo 2022 del IDEAM

**Tabla 11***Variables ambientales In situ para el mes de marzo*

Parámetros Puntos	Índice uv	Viento (km/h)	Precipitación (mm)	Humedad (%)	Temperatura ambiental (c)
Alto de las Piedras -Isnos	8,5	8,5	0	0,7	17,5
Alto de los Ídolos - Isnos	7	12,5	11,5	0,715	18,5
La Pelota y Purutal - S.A.	3,5	10	2,5	0,755	20,5
El Tablón - S.A.	2,5	10	7	0,76	21
La Chaquira – S.A.	2	10	3	0,75	21
Parque Arqueológico San Agustín - S.A.	3,5	10,5	2,5	0,73	19,5

**Figura 18***Valores graficados de variables ambientales In situ para el mes de marzo*

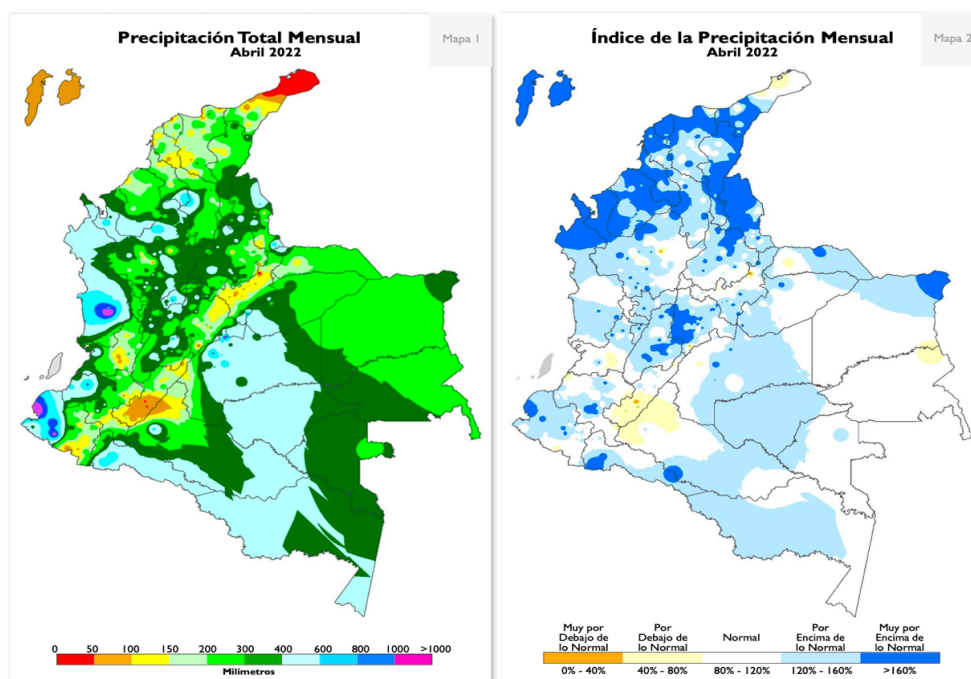
En la figura 18, se denotan los valores obtenidos durante el mes de marzo en cuanto a variables como índice UV, en donde se evidencia que el punto de estudio con mayor radiación fue Alto de las Piedras seguido de Alto de los Ídolos, ambas zonas en el municipio de Isnos, mientras que, en los puntos de San Agustín los datos generados fueron menos intensos. En cuanto a la variable de velocidad del viento se precisan fuerzas similares en todos los puntos de muestreo. Por otra parte, con respecto a la variable de precipitación y humedad, durante este mes la caída de agua de las nubes a la tierra no fue constante, por lo que, la humedad de las zonas se mantuvo baja. Se observa que frente a este suceso en Alto de las Piedras no se presentó mayor lluvia, la menor humedad y una alta radiación. Frente a la temperatura se mantienen datos de 18 a 21, confirmando un clima templado en la zona de estudio.

### **Abril**

En el mes de abril no se tomaron datos climatológicos debido a que al revisar la página del IDEAM (ver figura 19) no se presentarían precipitaciones considerables para la recolección, por ende, la obtención de muestras de agua para la evaluación de los parámetros fisicoquímicos no fue posible.

### **Figura 19**

*Precipitación total mensual para el mes de abril*



*Nota.* En la imagen derecha se presentan los días de precipitación registrados del mes de abril y al lado izquierdo los días anormales en las áreas de precipitación para el mismo mes.

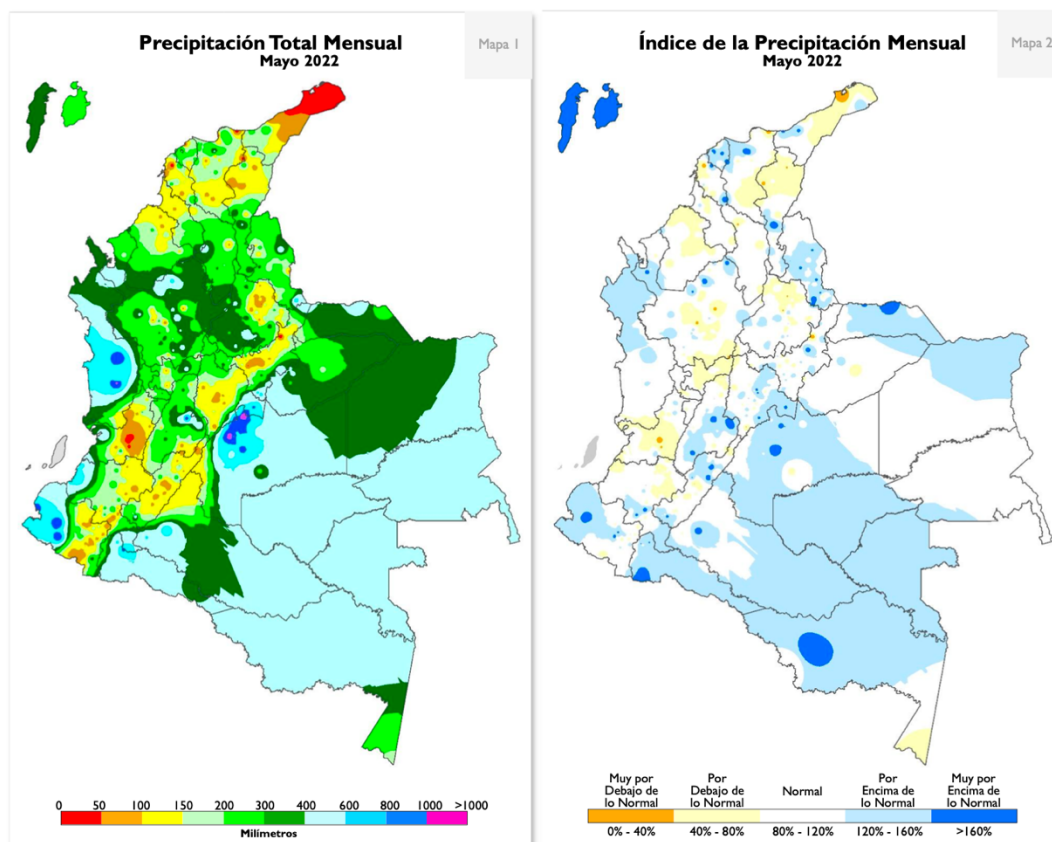
*Fuente.* Tomado del boletín climatológico abril 2022 del IDEAM.

## Mayo

El IDEAM establece anomalías climáticas para este mes (Boletín climatológico mayo 2022 del IDEAM), pues los vientos alisios, el cual es característico del fenómeno climático de La Niña y en la que se registraron niveles muy bajos de la atmósfera, afectó gran parte del territorio colombiano y provocó que los índices de precipitaciones mensuales estuviesen por debajo de lo normal en zonas de valle y algunas montañas, tal como se observa en la figura 20. Así mismo, se logra establecer que los milímetros de la precipitación para las zonas de estudios solo presentaron entre 50 y 100 mm.

## Figura 20

*Precipitación total mensual para el mes de mayo*



*Nota.* En la imagen derecha se presentan los días de precipitación registrados del mes de mayo y al lado izquierdo los días anormales en las áreas de precipitación para el mismo mes.

*Fuente.* Tomado del boletín climatológico mayo 2022 del IDEAM.

El último mes de obtención de datos y análisis climatológico fue en mayo (ver figura 21). Durante este tiempo, el índice UV en Alto de las piedras con respecto a las demás zonas de estudio presenta una radiación solar intensa, principalmente al compararlo con el punto de la Chaquira en donde el valor fue de  $1 \frac{w}{m^2}$ . Al revisar los otros meses, se puede deducir que en mayo la energía emitida por el sol no presentaba un riesgo para la salud de las personas. En cuanto a la velocidad del viento El parque Arqueológico de San Agustín y El punto Alto de las piedras reflejan menor fuerza (ver figura 21). Observando las variables de precipitación y humedad en el municipio de Isnos no se originó lluvia frecuente, aunque la humedad se mantuvo en un rango de 0,6 a 0,7%. Las temperaturas en las zonas de muestreo fueron constantes. (ver tabla 12)

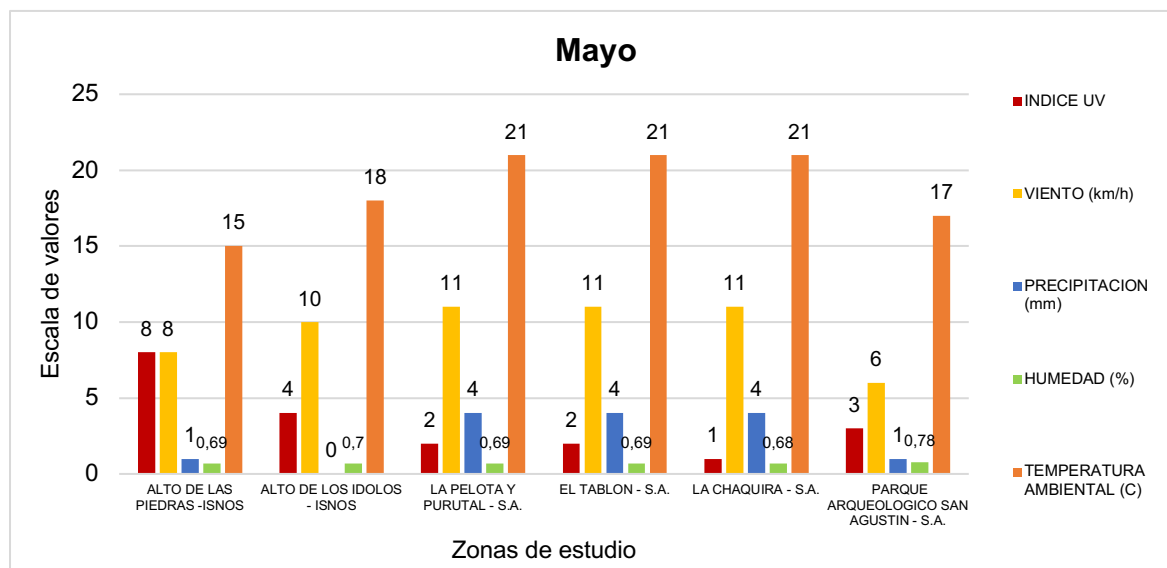
**Tabla 12**

*Variables ambientales In situ para el mes de mayo*

Parámetros Puntos	Índice uv	Viento (KM/H)	Precipitación (mm)	Humedad (%)	Temperatura ambiental (°C)
Alto de las Piedras - Isnos	8	8	1	0,69	15
Alto de los Ídolos - Isnos	4	10	0	0,7	18
La Pelota y Purutal - S.A.	2	11	4	0,69	21
El Tablón - S.A.	2	11	4	0,69	21
La Chaquira – S.A.	1	11	4	0,68	21
Parque Arqueológico San Agustín - S.A.	3	6	1	0,78	17

Figura 21

Valores graficados de variables ambientales In situ para el mes de mayo



## 6.2 Análisis parámetros fisicoquímicos

Los valores altos de conductividad identificados en las gráficas (ver anexos) específicamente en los meses de febrero y marzo se relacionan con múltiples factores como depósitos en el subsuelo de material particulado proveniente de las industrias aledañas a la zona donde se generan quemas de material orgánico.

En general, la conductividad mostró valores más altos durante los meses de febrero y marzo en comparación con los meses de enero y mayo. Esto se debe al posible fenómeno de la inversión térmica que se produce a una altura de aproximadamente 500 m por encima del suelo. Las condiciones atmosféricas estables que caracterizan a estos períodos impiden una buena dispersión de los contaminantes y favorece el estancamiento temporal de los contaminantes en el aire, principalmente en estos meses.

El pH es considerado como el principal indicador de la lluvia ácida, depende de la cantidad de lluvia y la presencia de polvo atmosférico, además, según las gráficas obtenidas estos dos parámetros se comportan inversamente proporcional. Los datos fueron obtenidos in situ en los meses de enero a mayo del año 2022, allí se aprecia que aproximadamente el 27.7 % de las muestras recolectadas en las áreas de estudio tienen un pH menor a 6.0; es decir, hay presencia de lluvia ácida con un mínimo de 3.98 unidades en el área de la Chaquira-San Agustín. Para los resultados de pH más básicos influye la escasez de lluvias durante algunos días de los meses de estudio (enero-mayo), así pues, se conoce que en las zonas de interés hay una disminución de la precipitación, por ende, la conductividad del agua lluvia está directamente relacionada con la presencia de iones disueltos en la misma. En las gráficas obtenidas se aprecia que los valores más altos de conductividad se presentan en los meses de febrero y marzo, esto tendría explicación por la presencia de industrias como la panelera, ladrillera y microempresas que producen de forma artesanal sus productos y que se encuentran ubicados en zonas aledañas produciendo material particulado, así mismo, de la erosión del suelo y la poca vegetación que generan polvo, la cual contribuye a aumentar la conductividad.

Los resultados obtenidos de pH básicos y conductividad de las muestras analizadas durante las épocas de lluvia se pueden explicar por la formación de sales derivadas de las piedras o morteros que se encuentran alrededor de las áreas de estudio que son a base de Carbonatos de Calcio ( $CaCO_3$ ) y Magnesio ( $Mg$ ) que pueden reaccionar con otras sales o soluciones acuosas, y a su vez, pueden ser productos resultantes de la reacción de otras sales.

La disolución de la calcita ( $CaCO_3$ ) de las calizas, es una fuente importante de iones de calcio ( $Ca^{+2}$ ) y iones carbonatos ( $CO_3^{-2}$ ). El carbonato de calcio es prácticamente insoluble en

agua; sin embargo, puede disolverse como bicarbonato cuando el agua, en contacto con la piedra o mortero, contiene una cantidad determinada de  $CO_2$ , procedente de la atmósfera, principalmente en zonas industriales. Este  $CO_2$ , se disuelve en el agua y forma ácido carbónico  $H_2CO_3$  reacciona con el carbonato formando un bicarbonato, más soluble.

Cuando un muro o piedra comienza a secarse las sales de bicarbonato migran hacia la superficie y cuando tiene lugar la evaporación, se produce la formación de carbonato cálcico, prácticamente insoluble, que se deposita rápidamente sobre la misma (Press y Siever, 1985; Teutónico, 1988).

Se puede decir que la conductividad se da por la formación de bastantes iones. Los carbonatos de potasio ( $K$ ) y sodio ( $Na$ ) se forman, generalmente, a partir de iones liberados de materiales alcalinos utilizados en la construcción de edificaciones, casas tales como el cemento, o algunos productos de limpieza alcalinos. La mayoría de ellos se introducen como hidróxidos alcalinos y se transforman en sulfatos o carbonatos cuando reaccionan con ácido sulfúrico o carbónico de la atmósfera. Adicional a esto en la atmósfera, contaminada o no, pueden existir sales en suspensión o pueden estar presentes iones capaces de formar sales solubles en el agua.

El comportamiento de las características químicas del agua lluvia se determina a partir del seguimiento del pH, conductividad, nitratos y sulfatos, producto del análisis fisicoquímico de las muestras recolectadas en los sitios de monitoreo, se determina que en la figura 22, la conductividad en el Alto de las Piedras-Isnos en el mes de Febrero (T2) presenta un valor por encima de  $30 \mu S/cm$ , indicando un importante contenido de iones disueltos en la muestra, presentando el valor más alto en los periodos típicos de lluvia en la zona durante los meses de enero, febrero, marzo y mayo tal como se observa en la tabla 13.



Figura 22

Gráfica de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para la zona de estudio Altos de las Piedras

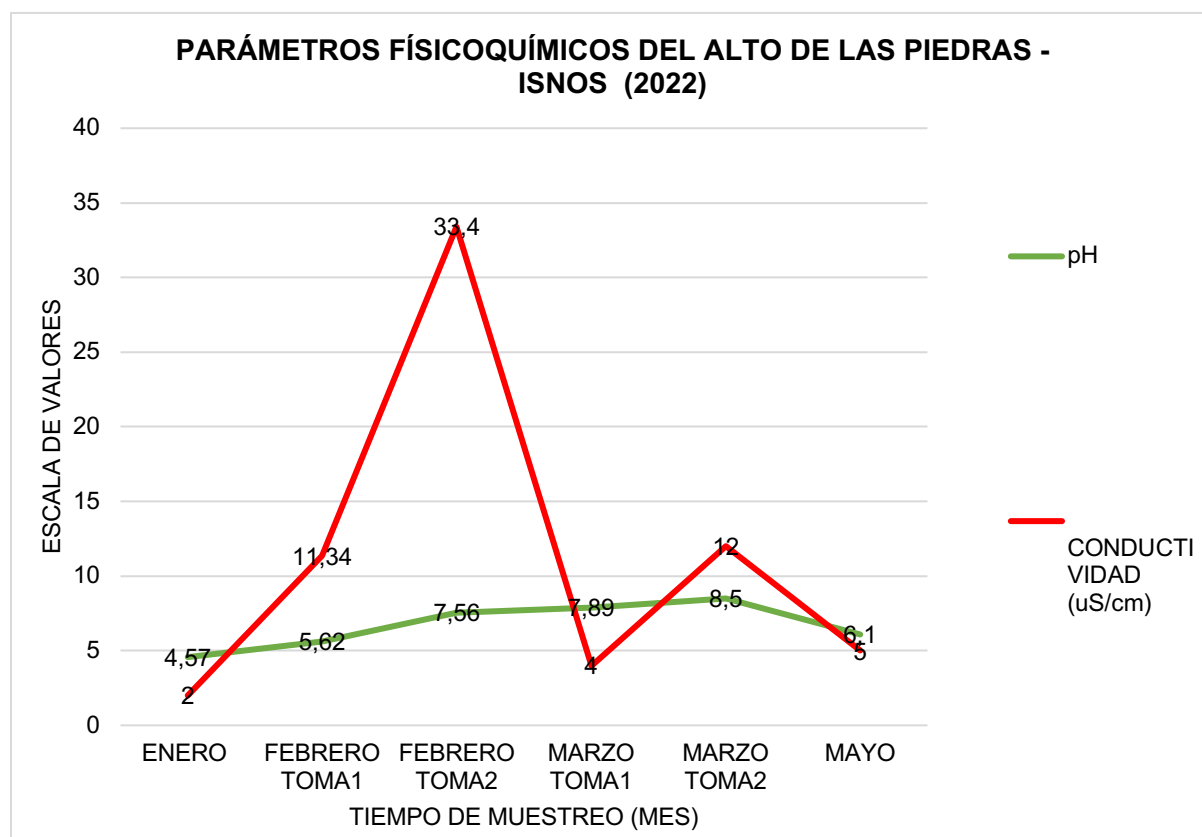


Tabla 13

Parámetro de conductividad para el mes de enero

Mes De Febrero T2				
Parámetro / punto	Coordenada		Parámetro	
			EC	
			(CONDUCTIVIDAD)	
		$\mu\text{S}/\text{cm}$		
	N	W	TOMA 1	TOMA 2
1 - ALTO DE LAS PIEDRAS - ISNOS	1° 58' 15.37"	76° 12' 03.06"	11,34	33,4
2- ALTO DE LOS IDOLOS - ISNOS	1° 55' 00.49"	76° 14' 36.02"	36,20	4,4
3 - LA PELOTA Y PURUTAL - S.A.	1° 54' 46.80"	76° 17' 40.95"	7,42	3,8

4 - EL TABLÓN - S.A.	1° 53' 57.1"	76° 16' 30.5"	7,52	3,8
5 - LA CHAQUIRA - S.A.	1° 54' 10.95"	76° 16' 02.81"	4,90	4,1
6 - PARQUE ARQUEOLOGICO SAN AGUSTIN - S.A.	1° 53' 14.03"	76° 17' 43.37"	10,52	4,5

---

Los valores de pH mantienen un comportamiento con una preponderancia de valores por encima de 5.6 a excepción del mes de enero el cual indica un valor de 4,57 representando el valor más bajo de pH en los periodos de lluvia. Los valores de pH por encima del rango normal (5.6), indican que no ha existido acidificación de la lluvia, situación que se debe a la temperatura de la zona que osciló entre valores de 18,8-25,6 °C

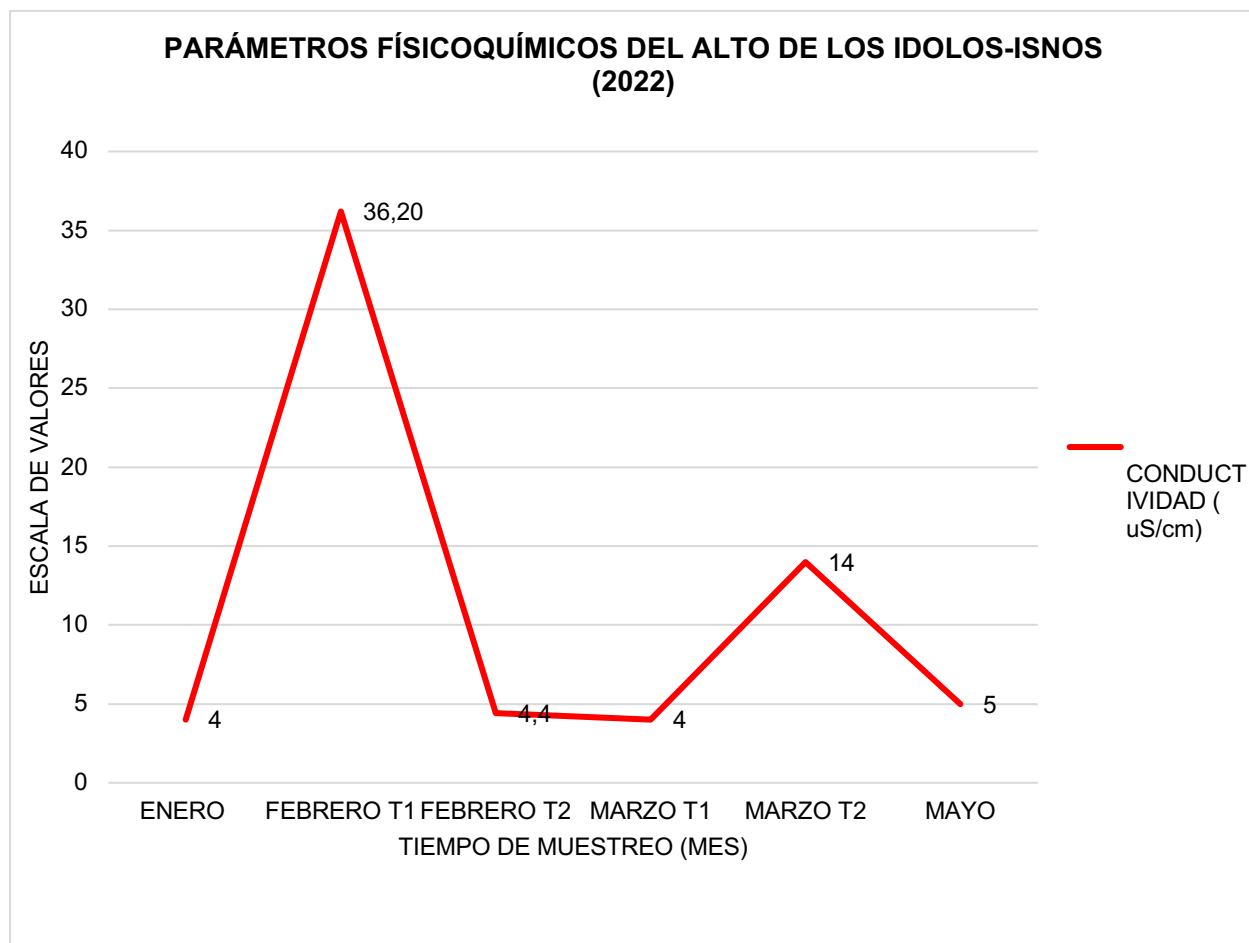
Por ende, se obtuvo como resultado general de todas las gráficas de los datos obtenidos que el ion nitrato ( $NO_3^{-1}$ ) estuvo presente en un rango de 0,443 a 1 mg/L, destacándose valores de concentración muy bajos durante todos los meses enero, febrero, marzo y mayo, estos valores se encuentran dentro del límite aceptable de 10 mg/L de calidad de agua potable establecido en la resolución 2115 de 2007.

Con respecto al anión sulfato ( $SO_4^{-2}$ ), se obtuvieron valores en el rango de 1,0- 10 mg/L, durante los meses de enero y febrero, este se mantuvo constante con valor límite de 10 mg/L, en el mes de marzo y se evidencia una disminución del valor de la concentración de este anión manteniendo valores iguales o menores a 1 mg/L durante todo el muestreo.

El comportamiento de las características químicas del agua lluvia se determina a partir del seguimiento del pH, conductividad, nitratos y sulfatos, producto del análisis fisicoquímico de las muestras recolectadas en los sitios de monitoreo, por ende se determina que en la figura 23 la conductividad en el Alto de los Ídolos-Isnos en el mes de Febrero (T1) presenta un valor por encima de 30  $\mu$ S/cm, indicando un importante contenido de iones disueltos en la muestra, presentando el valor más alto en los periodos típicos de lluvia en la zona durante los meses de enero, febrero, marzo y mayo. Los valores de pH mantienen un comportamiento con una preponderancia de valores por encima de 5.6 a excepción del mes de enero el cual indica un valor de 4.74 representando el valor más bajo de pH en los periodos de lluvia. Los valores de pH por encima del rango normal (5.6), indican que no ha existido acidificación de la lluvia, situación que se debe a la temperatura de la zona que osciló entre valores de 18,1-26,5 °C

**Figura 23**

Gráfica de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para la zona de estudio Altos de los Ídolos



Se obtuvo como resultado que el ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en la zona de estudio de Alto de los Idolos-Isnos estuvo presente en un rango de 0,443 a 1,2 mg/L, destacándose valores de concentración muy bajos durante todos los meses enero, febrero, marzo y mayo, estos valores se encuentran dentro del límite aceptable 10 mg/L de calidad de agua establecido en la resolución 2115 de 2007.

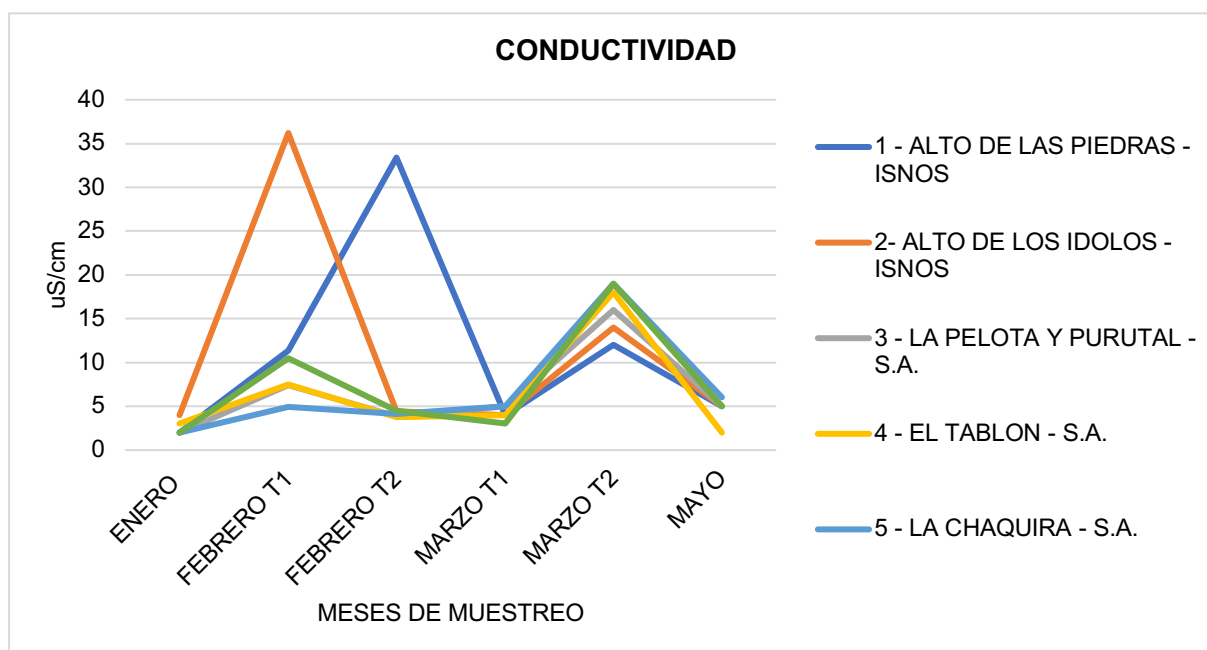
Con respecto al anión sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), se obtuvieron valores en el rango de 1,0- 10 mg/L, durante los meses de enero y febrero se mantuvo constante con valor límite de 10 mg/L, en el mes de marzo se evidencia una disminución del valor de la concentración de este anión manteniendo valores iguales o menores a 1 mg/L.

El comportamiento de las características químicas del agua lluvia se determina a partir del seguimiento del pH, conductividad, nitratos y sulfatos, producto del análisis fisicoquímico de las muestras recolectadas en los sitios de monitoreo, se determina que la conductividad en los sitios de muestreo de la Pelota y Purutal, el Tablón, la Chaquira y Parque Arqueológico San

Agustín en el mes de marzo (Ver figura 24) presentan un valor por encima de 15  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando un contenido significativo de iones disueltos en las muestras, presentando una disminución considerable comparada con los valores del mes de febrero en el punto de muestreo alto de los ídolos y alto de las piedras-Isnos.

**Figura 24**

*Gráfica de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para las zonas de estudio*



Los valores de pH mantienen un comportamiento con una preponderancia de valores por encima de 5.6 a excepción de los meses de enero y febrero T1 en el sitio de muestreo la pelota y Purutal (Ver figura 25) el cual indican valores entre 4,57-5,29 respectivamente, en los meses de enero y febrero T1 en el sitio de muestreo el tablón indicando valores entre 4,2-5,57 y en los meses de enero y febrero T2 en el sitio de muestreo La chaquira (ver figura 26) indicando valores entre 3,98-5,30 respectivamente representando los valores más bajos de pH en los periodos de lluvia. Los valores de pH por encima del rango normal (5.6), indican que no ha existido acidificación de la lluvia, situación que se debe a las temperaturas promedios de las zonas indicadas que oscilaron entre 18,1-26,6 °C

Figura 25

Gráfica de conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) y pH para la zona de estudio Altos de los Ídolos

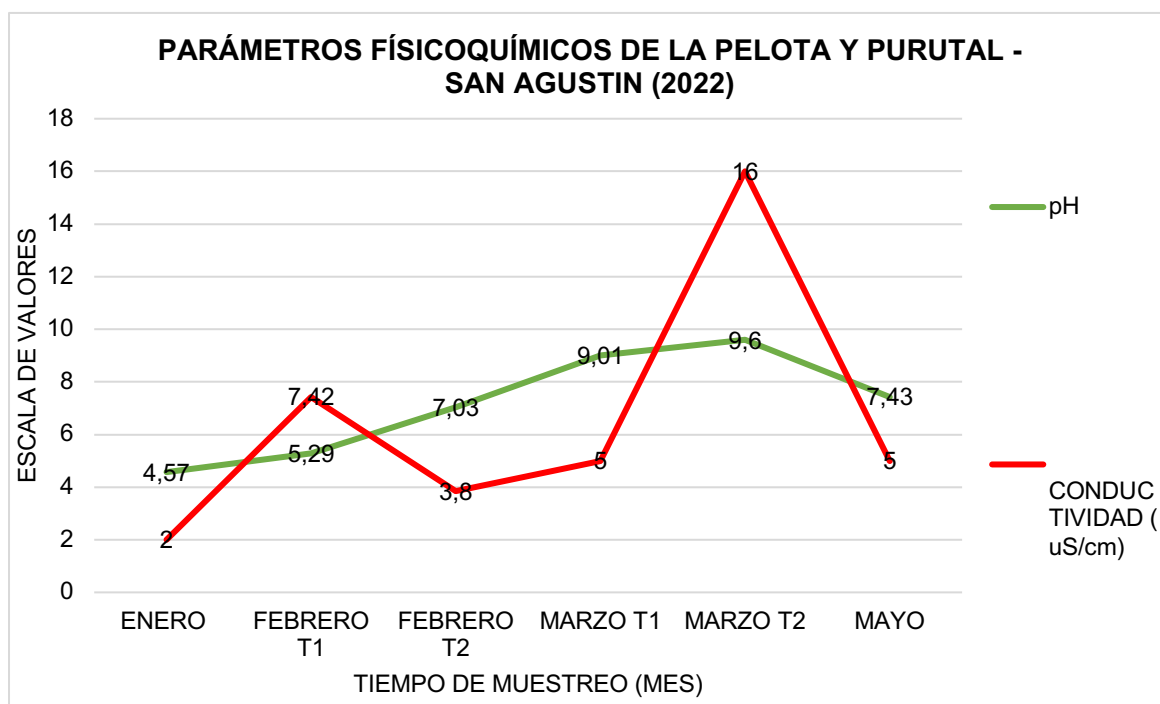
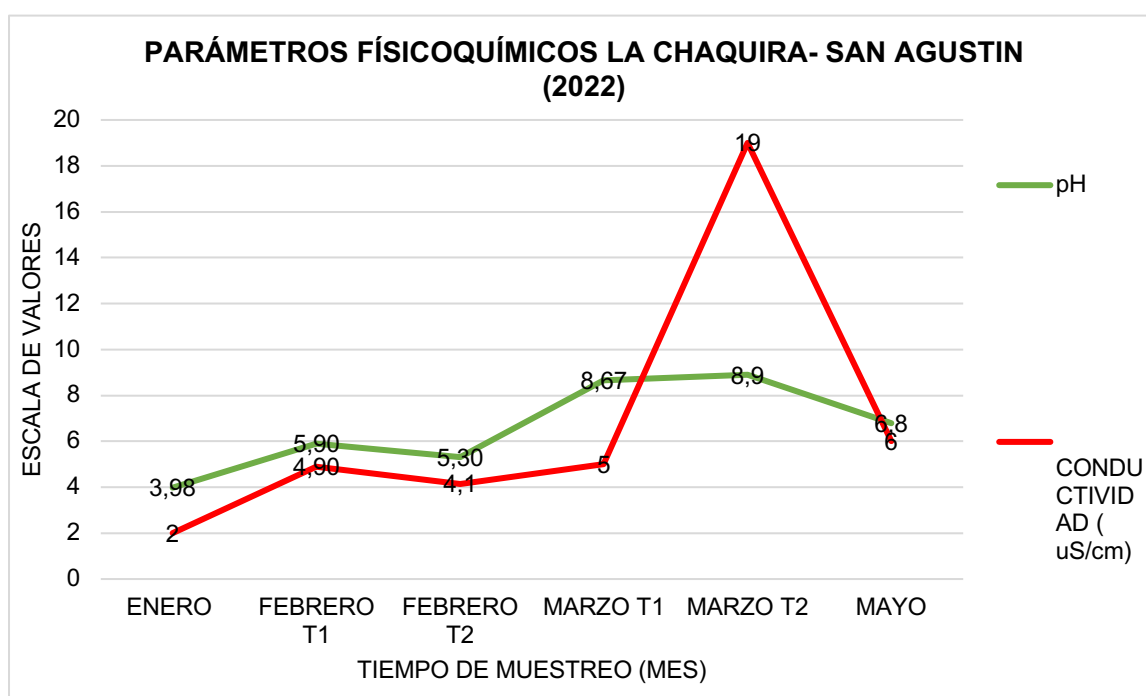


Figura 26

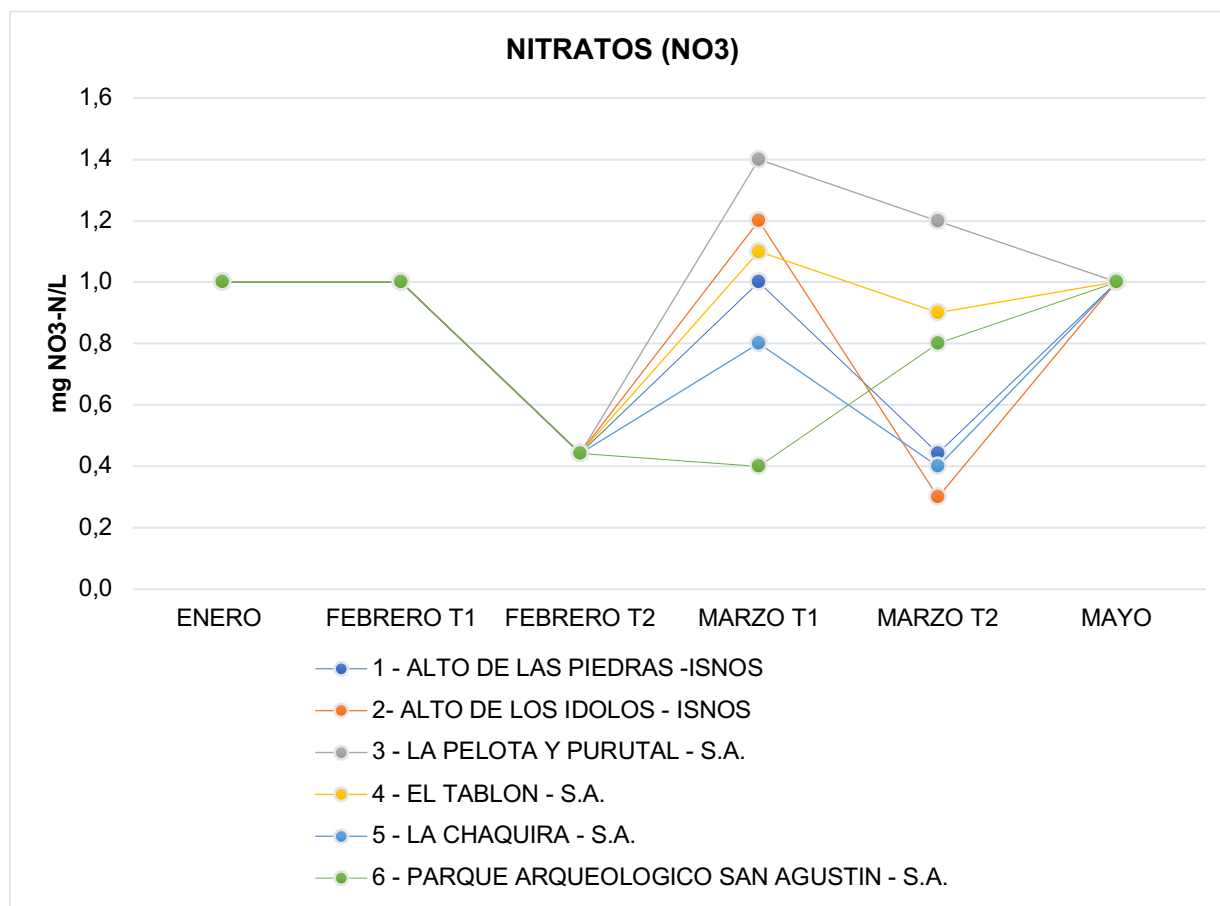
Gráfica de conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) y pH para la zona de estudio La Chaquira



Se obtuvo como resultado que el ion nitrato ( $NO_3^{-1}$ ) estuvo presente en un rango de 0,443 a 1,4 mg/L, destacándose valores de concentración muy bajos durante todos los meses enero, febrero, marzo y mayo (ver figura 27) estos valores se encuentran dentro del límite aceptable 10 mg/L de calidad de agua potable establecido en la resolución 2115 de 2007.

**Figura 27**

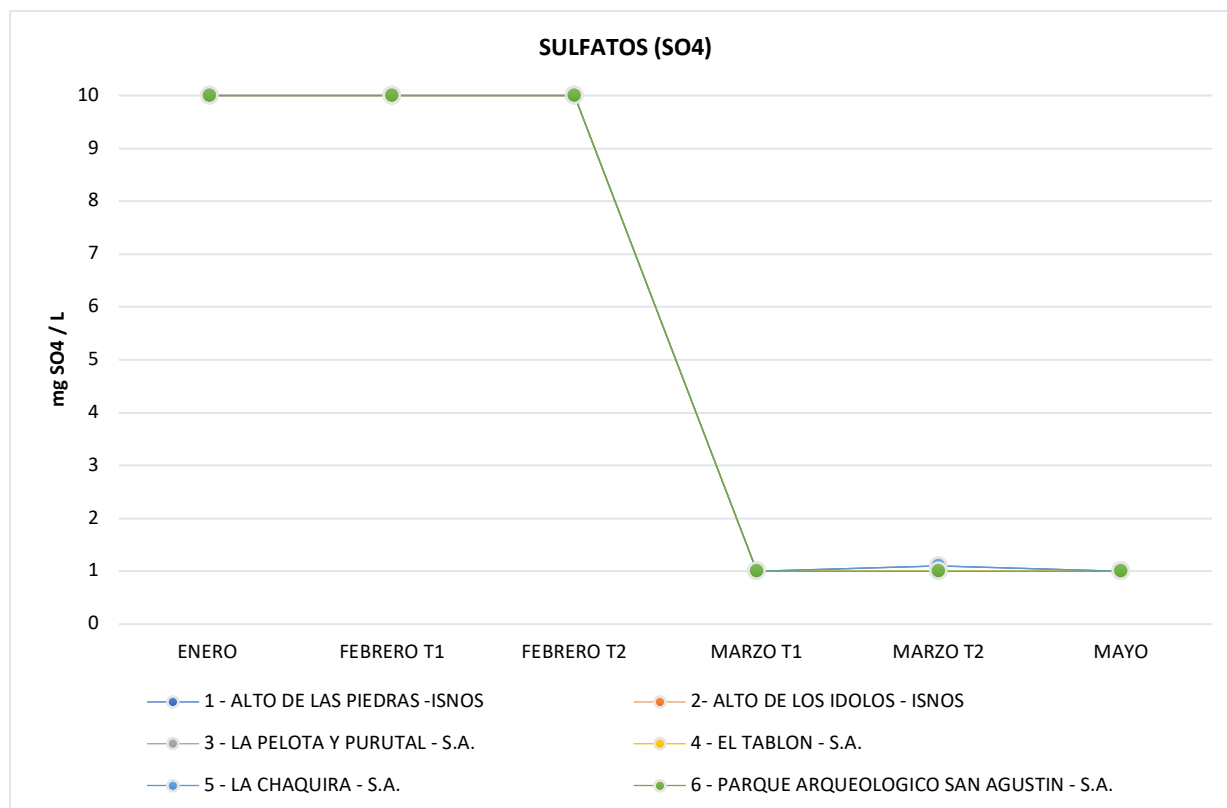
*Gráfica de nitratos de todas las zonas de estudio*



Con respecto al anión sulfato ( $SO_4^{-2}$ ), se obtuvieron valores en el rango de 1,0- 10 mg/L, durante los meses de enero y febrero se mantuvo constante con valor límite de 10 mg/L, en el mes de marzo se evidencia una disminución del valor de la concentración de este anión manteniendo valores iguales o menores a 1 mg/L como se observa en la figura 28.

**Figura 28**

*Gráfica de sulfatos de todas las zonas de estudio*



### 6.3 Evaluación de la percepción y grado de afectación de las esculturas agustinianas

Para la elaboración del instrumento de medición análisis cualitativo de los posibles efectos de la lluvia sobre la morfología de las esculturas agustinianas consideradas patrimonio histórico de la humanidad se realizó una revisión bibliográfica y se establecieron sets de preguntas relacionadas al tema (ver anexo 2), por ello se muestran los siguientes resultados producto del material.

La evaluación de dichas estatuas se dio de 2 maneras, la primera se realizó por análisis de encuestas que fueron aplicadas a una población de 171 personas entre turistas, personal a cargo de los parques y locales, la cual consistió en determinar con preguntas generadas estratégicamente el desgaste observable por parte de la población de la mayoría de las esculturas Agustinianas, para este proceso se desarrollaron 5 preguntas de carácter personal y 15 preguntas en relación a lo observado durante el recorrido de los parque en lo que respecta a las esculturas.

Para la confirmación de la realización de las encuestas se usó la plataforma de Google Formularios en el siguiente link: <https://forms.gle/i6y9j3hCUWGV3A9K7> ; esto permitió que se hiciera un mejor análisis de las preguntas y un mejor orden a la hora de observarlas. Así mismo, para comprobar la viabilidad de la aplicación de las preguntas, se hizo con ayuda del método de Alfa de Cronbach el cual permite estimar la confiabilidad de un instrumento de medida en este caso la encuesta, utilizando un conjunto de ítems que se espera mida o permita recolectar información de alto impacto en una investigación, en dicho análisis se obtuvieron datos reales (ver tabla 14).

El cálculo del Coeficiente de Alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) viene dado por la ecuación:

$$\alpha = \left[ \frac{k}{k-1} \right] \cdot \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{\sum S_t^2} \right]$$

Donde:

- $S_i^2$  = La suma de varianzas de cada ítem.
- $S_t^2$  = la varianza del total de filas (puntaje total de los encuestados)
- $k$  = el número de preguntas o ítems.

**Tabla 14**

*Resultado del Coeficiente de Alfa de Cronbach*

Criterio	Valor
k	15
SSi2	20,37
ST2	175,80
$\alpha$	0,9472943397

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla y de tomando los valores de criterio de confiabilidad de Castro, Cerquera y Escobar (2015), se encuentra que el resultado es de alta confiabilidad ya que el rango de Alfa de Cronbach está entre 0.9 y 1.

Una vez desarrollado el proceso de encuestas y análisis correspondiente, en el cual arroja resultados positivos que ayudan a comprobar la idea planteada en este trabajo de grado, la gráfica (ver figura 29) que se toma como referencia para el análisis



y la tabla 15, muestran los ítems que se trabajaron con su respectiva moda y porcentaje demostrando que efectivamente durante el transcurso de los años se han presentado degradación de las esculturas en el circuito arqueológico de San Agustín.

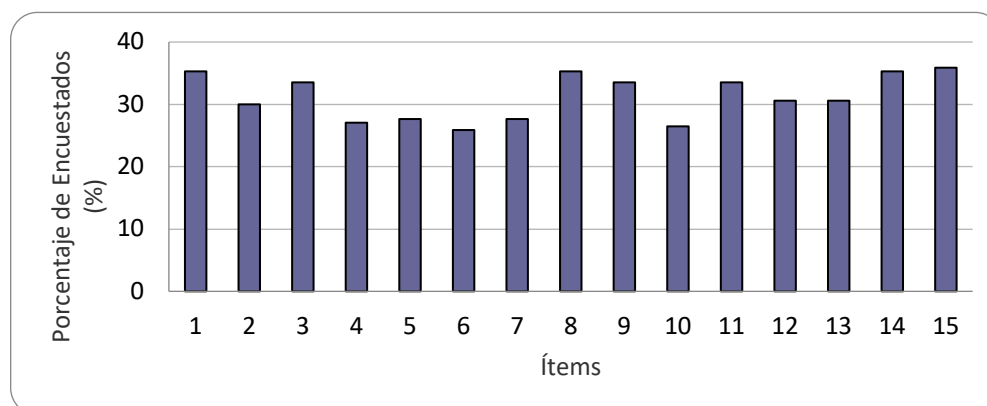
**Tabla 15**

*Análisis estadístico de la encuesta aplicada*

Título	Ítem	Moda	Porcentaje
Diagnóstico de	1	4	35
los niveles de	2	3	30
acidez del	3	3	34
agua lluvia	4	4	27
registrada en	5	3	28
el circuito	6	4	26
arqueológico	7	4	28
agustiniano y	8	4	35
sus posibles	9	3	34
efectos sobre	10	3	26
la morfología	11	3	34
de las	12	3	31
esculturas de	13	3	31
San Agustín e	14	3	35
Isnos, Huila	15	4	36

**Figura 29**

*Gráfica de porcentajes de encuestados versus Ítems (preguntas)*



Como segundo método de evaluación de la degradación de dichas estatuas se hizo el análisis macroscópico, 2 de ellas que están dentro de la lista de esculturas con más representación de acuerdo a los guías del parque Arqueológico de San Agustín, fueron, tomando como base imágenes muy antiguas de dicha escultura.

Desde el año 1914, el señor Konrad Preuss quien estudió dichas estatuas destacó el Águila o Búho (ver figura 30) con una serpiente en el pico, ubicado en la mesita B, esta escultura con 166 centímetros de alto, 136 centímetros de ancho y 36 centímetros de grosor, se toma como objeto de análisis ya que dicha imagen tomada en el año 1937, muestra rasgos muy notables en la profundidad de su líneas de contorno, así mismo, se observa una gran marca en el tallado, es decir, en los surcos que la componen, también en los relieves de la misma roca se denota la visión de lo que se quiere mostrar, la uniformidad de los colores propios de la roca al tallarla.

### **Figura 30**

*El Búho (Águila), escultura representativa del parque de San Agustín*



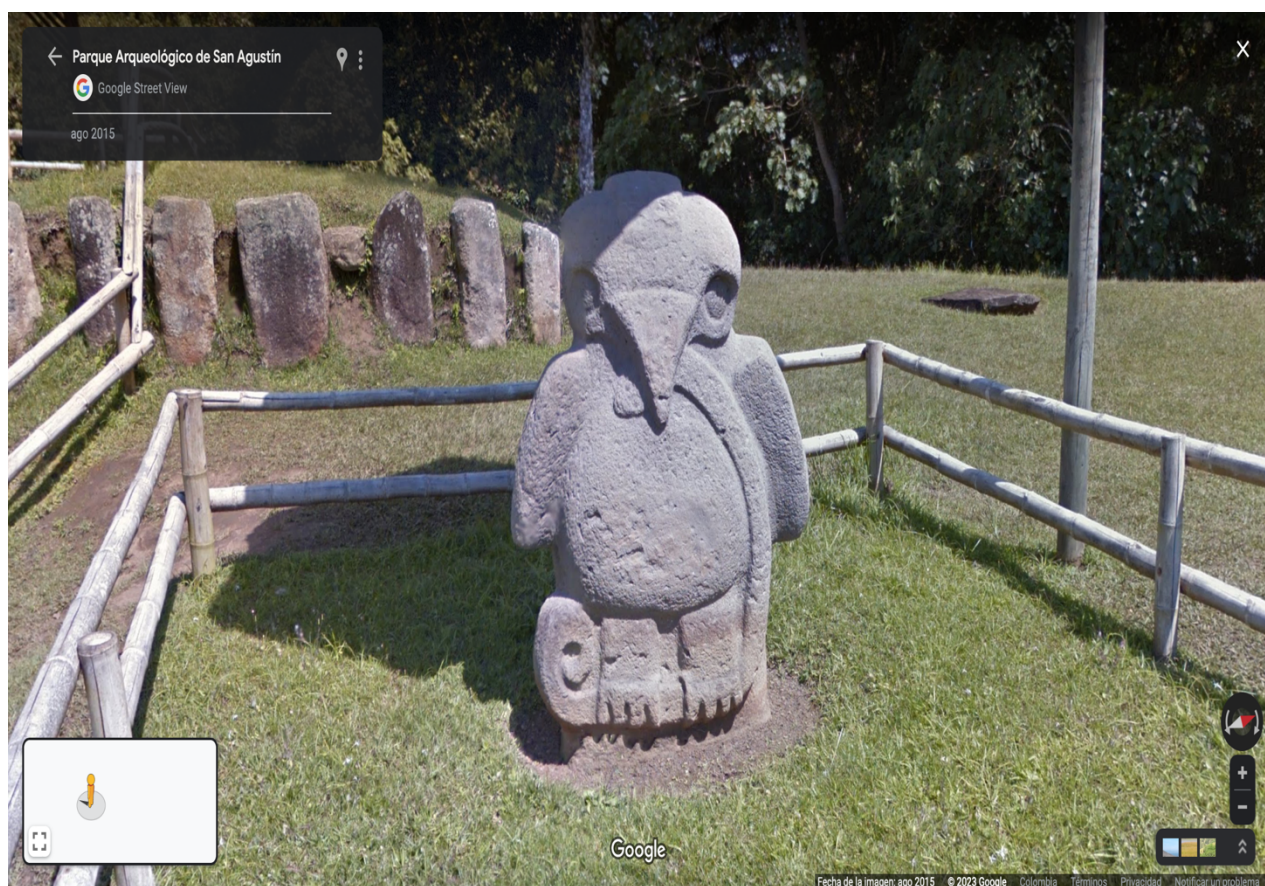
*Nota.* Lámina 75, fotografía de El Búho tomada por Luis Alfonso Sánchez donde se puede observar grandes rasgos en el contorno.

Fuente. De Barradas, J. P., & de Barradas, J. P. (1943). *Arqueología agustiniana Excavaciones arqueológicas realizadas de marzo a diciembre de 1937. Dibujos de Luis Alfonso Sánchez Valderrama.*

Por otra parte, en la figura 31 se muestra la misma imagen tomada 72 años después, mostrando grandes cambios superficiales en su morfología, se denota que la roca ha sufrido erosión por los cambios bruscos del clima, pero son consecutivos con el tiempo.

### Figura 31

*El Búho (Águila), escultura representativa del parque se San Agustín*



*Nota.* En la imagen se observa la meteorización de la roca con el tiempo, en la parte inferior se establecen marcas causadas por la precipitación y líneas que afirman una degradación de la roca, dicha imagen se toma en el año 2015.

*Fuente.* La imagen se toma como adaptación de la página web Google Maps.

Sin embargo, en la figura 32 la misma imagen tomada en el mes de mayo del año 2022, se observa un cambio muy radical en la morfología, en los surcos, en la coloración de la parte inferior de la escultura como también de la misma roca donde bien se puede denotar que en tan solo 7 años de diferencia, el proceso de desgaste fue muy acelerado, esto es concluyente con en análisis de resultado obtenido del estudio del agua lluvia que se genera en la zonas aledañas a la fabricación de panela artesanal y otras que se conforman el Circuito Arqueológico de San Agustín.

### **Figura 32**

*El Búho (Águila), escultura representativa del parque de San Agustín*



*Nota.* Imagen tomada en el año 2022, muestra líneas muy marcadas en la parte inferior, la decoloración de la roca es máxima en comparación con otros años, la profundidad de las líneas son mínimas y el tallado pierde el horizonte, no son muy perceptibles los surcos.

Para tener una imagen más clara del daño causado por la precipitación contaminada a raíz de las industrias que actualmente se presentan en las zonas, se establece una última imagen unificada (ver figura 33) del Búho, escultura icónica de la cultura Agustiniana.

**Figura 33**

*El Búho (Águila), escultura representativa del parque se San Agustín*



*Nota.* La imagen del lado izquierdo fue tomada en el año de 1937, la imagen de la mitad en el año de 2015 y la imagen de la derecha en el año 2022

## 7. Conclusiones

- Se determinó la acidez del agua lluvia durante los meses enero, febrero, marzo, abril y mayo del año 2022 que, de acuerdo a los resultados obtenidos en la tendencia de acidez, el cual tiene relación directa con los efectos evidenciados sobre la morfología de las esculturas del circuito arqueológico Agustiniiano, es claro que el daño presentado por el transcurso del tiempo afecta el patrimonio cultural de la humanidad.
- El análisis del pH y los iones precursores de la lluvia ácida junto a los nitratos y sulfatos en la comparación con valores de referencia se relacionan con múltiples factores como depósitos en el subsuelo de material particulado proveniente de las industrias aledañas a la zona donde se generan quemas de material orgánico, afirmando que se genera una incidencia negativa del entorno industrial sobre el patrimonio escultórico.
- El estudio llevado a cabo de las condiciones meteorológicas de las zonas de estudio circuito arqueológico Agustiniiano y relacionado con el comportamiento de la lluvia ácida durante el periodo de enero a mayo del año 2022 indica que el efecto de la precipitación de los iones de azufre, nitrógeno, sales a causa de la dirección del viento en la zona, producto de la industrias que se encuentran cerca puede resultar de alta peligrosidad para la salud humana y de un alto índice de destructibilidad para las esculturas, por tal razón se debe tratar de mitigar los efectos disminuyendo las cantidades de emisiones de compuestos químicos a la atmósfera.
- Las observaciones cualitativas realizadas sobre el deterioro de las esculturas prehispánicas de la cultura Agustiniiana sirven como indicativo del efecto potencial de la acidez de la lluvia sobre los receptores sensibles en el área de estudio y se destaca la importancia de profundizar en el análisis de los fenómenos con el fin de iniciar acciones de prevención y control que contribuyan a mejorar la calidad del aire en la zona de estudio.

## 8. Bibliografía

- Álvarez, M., Bateman, C., Quintero, I., y Ramírez, P. (2007). Plan de manejo del parque arqueológico de San Agustín, Componente Conservación. Instituto Colombiano de Antropología e Historia – ICANH. Recuperado de [https://www.icanh.gov.co/recursos\\_user/documentos/editores/309/COMPONENTE%20CONSERVACION.pdf](https://www.icanh.gov.co/recursos_user/documentos/editores/309/COMPONENTE%20CONSERVACION.pdf)
- Antolinez, A., y Díaz, C. (2003). Lluvia ácida en la zona norte de Bogotá. Trabajo de grado de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Berumen Rodríguez, A. A., Pérez Vázquez, F., Díaz Barriga, F., Márquez Mireles, L. E., & Flores Ramírez, R. (21 de diciembre de 2020). Revisión del impacto del sector ladrillero sobre el ambiente y la salud humana en México. *Salud pública de México*, 63(1), 100-109.
- Burbano, M., y Figueroa, A. (2014). Variabilidad espacio-temporal de aniones (SO<sub>4</sub>-2 y Cl-) en el agua lluvia de Popayán, Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 14(26): 13-28. Recuperado de <http://udem.scimago.es/index.php/ingenierias/article/view/1166/1126>
- Castro J. K. y Ramírez V.E. (2009). Diagnóstico de los Niveles de Gestión de la Higiene y de la Calidad en Empresas del Sector Agroalimentario del Departamento del Huila. Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Agrícola. Universidad Surcolombiana. Neiva. p. 117.
- Castro J.K, Cerquera N.E y Escobar, F.H. (2015). Model of economic value for the desertification process of the “Tatacoa Dessert”. *Journal Of Engineering And Applied Sciences* ISSN: 1819-6608 ed: v.10 fasc.8, Pakistán, p. 6.
- Constitución Política de Colombia [Const]. (1991). Artículos 63 y 72 [Titulo 2, Cap 2]. Recuperado de <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Documents/Constitucion-Politica-Colombia.pdf>
- Cortes, D., Peña, M., y Parra, T. (2017). Plan de manejo ambiental para la industria ladrillera, caso asociación de ladrilleros de Pitalito Huila “ASOLAPIH”. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 15(2):43-47.
- De Anda, V., y Souza, V. (2016). Azufre: elemento incomprendido de la biogeoquímica planetaria. *OIKOS*, (16): 25-30. Recuperado de <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/images/Pdfs/2016-1.pdf>

Domenéch, X. (1991). Química atmosférica. Miraguano Ediciones. Madrid.

De Barradas, J. P., & de Barradas, J. P. (1943). *Arqueología agustiniana Excavaciones arqueológicas realizadas de marzo a diciembre de 1937. Dibujos de Luis Alfonso Sánchez Valderrama.*

El tiempo. (30 de noviembre de 1996). Qué es lo que sale por el tubo de escape. *El Tiempo*.  
<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-609412>

Federación Nacional de Productores de Panela (FEDEPANELA). (2019). Panela en el departamento del Huila con importantes opciones con reconversión tecnológica. Recuperado de <https://fedepanela.org.co/gremio/panela-en-el-departamento-del-huila-con-importantes-opciones-con-reconversion-tecnologica/>

García, H., Antolinez, A., y Díaz, C. (2004). Estimativo de precursores y comportamiento de la precipitación ácida -húmeda y seca- en el norte de Bogotá, D. C. *Meteorología Colombiana*, (8):37-42.

García, J., Arévalo, J., y Guerreo, G. (2015). Análisis exergético de un horno de lecho fijo en la producción de panela. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(25): Recuperado de [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_40/recursos/05\\_v25\\_30/revista\\_25/17072015/06.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/05_v25_30/revista_25/17072015/06.pdf)

González, V. (2008). Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH). Componente arqueológico. Plan de Manejo-Parque Arqueológico de San Agustín, Huila. Recuperado de [https://www.icanh.gov.co/recursos\\_user/documentos/editores/309/COMPONENTE%20ARQUEOLOGICO.pdf](https://www.icanh.gov.co/recursos_user/documentos/editores/309/COMPONENTE%20ARQUEOLOGICO.pdf)

Granados, D., López, G., y Hernández, M. (2010). La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2): 187-206.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. (4ª Edic). México: Mc Grall Hill.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ª Edic). México: McGrall Hill.

Hernández, D. (2010). Cómo calcular el tamaño de la muestra. Consultado el 20 de enero de 2019, disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Y0XLJnGbFQs>

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH). (2011). *Parque Arqueológico Nacional de San Agustín*. Recuperado de



- [https://www.icanh.gov.co/recursos\\_user//ICANH%20PORTAL/OTROS%20ARCHIVOS/sanagustin\\_es.pdf](https://www.icanh.gov.co/recursos_user//ICANH%20PORTAL/OTROS%20ARCHIVOS/sanagustin_es.pdf)
- Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH). (2017). *Parque Arqueológico San Agustín e Isnos. La Chaquira*. Recuperado de <https://www.icanh.gov.co/index.php?idcategoria=17034>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (IDEAM). (2023.). [Figura 8] Formación de acidez atmosférica y de la depositación ácida. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-lluvia-acida>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (IDEAM). (2023). Formación de acidez atmosférica y de la depositación ácida. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/los-agentes-precursores-de-la-lluvia-acida>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (IDEAM). (2023.). [Tabla 1] Clasificación de agua lluvia de acuerdo con el pH. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-lluvia-acida>
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. (2017). CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS DE COLOMBIA. En *ATLAS CLIMATOLÓGICO DE COLOMBIA* (pág. 185). BOGOTÁ: IMPRENTA NACIONAL DE COLOMBIA. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/clima-text.pdf>
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. (2006). MEDICIÓN, PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y RED DE ESTACIONES QUE MIDEN VIENTO EN COLOMBIA. En *Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia* (pág. 123). Bogotá: Imprenta Nacional.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. (2005). *Precipitación total anual y mensual*. Obtenido de Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales: [http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125581/2651\\_HM\\_Precipitación\\_total\\_3\\_FI.pdf/615f94b0-9b09-472c-a9ca-31f481be3746](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125581/2651_HM_Precipitación_total_3_FI.pdf/615f94b0-9b09-472c-a9ca-31f481be3746)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *IDEAM*. Obtenido de INDICE ULTRAVIOLETA (IUV): <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/indice-ultravioleta-iuv->
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. (2005). Apéndice B - Radiación solar. En *Atlas de Radiación Solar de Colombia* (pág. 120). Bogotá: IMPRENTA NACIONAL DE COLOMBIA.

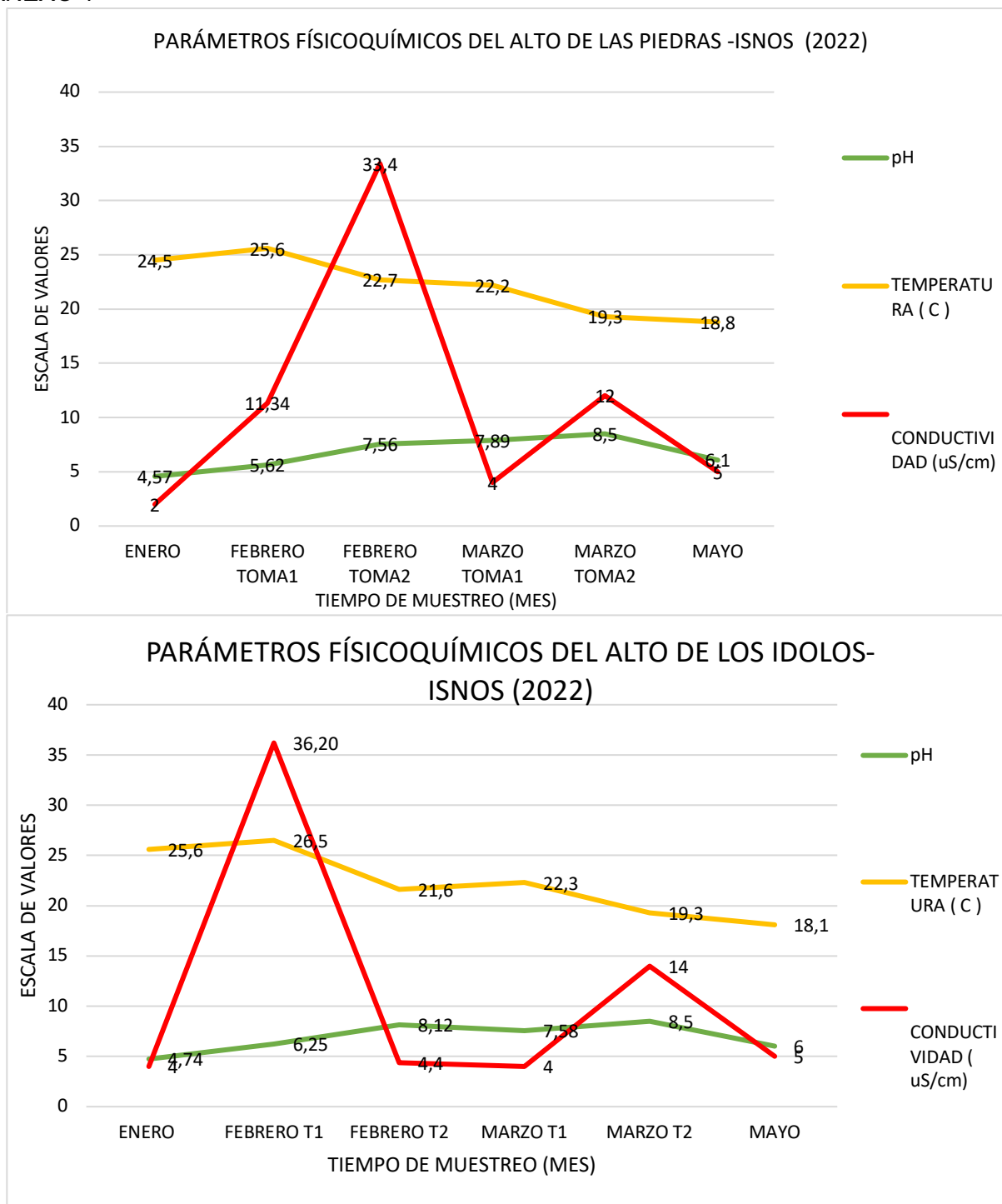
- López, V., y Herrera, G. (2011). Diagnóstico de Lluvia Ácida y Condiciones Meteorológicas Asociadas en el Barrio La Candelaria – Bogotá D.C. *Publicaciones E Investigación*, 5(1), 101-119.
- Ministerio de cultura (Mincultura). (2009). La Ley 1185 de 2008 y el Decreto 763 de 2009. Recuperado de [https://mincultura.gov.co/areas/fomento-regional/noticias/Paginas/2009-07-06\\_24383.aspx](https://mincultura.gov.co/areas/fomento-regional/noticias/Paginas/2009-07-06_24383.aspx)
- Montoya, J. (2011). Efectos de la quema de la caña de azúcar en el medio ambiente y salud de las personas. *Ventana Ambiental*.
- Organización Colparques. (s.f). *San Agustín patrimonio arqueológico*. Recuperado de <http://www.colparques.net/SANAGUSTIN#aceptar>
- Pajares, S. (2016). La cascada del nitrógeno ocasionada por actividades humanas. *OIKOS*, (16): 14-17. Recuperado de <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/images/Pdfs/2016-1.pdf>
- Riveros, H., Cabrera, E., Y Martínez, J. (2000). Emisiones Vehiculares. Instituto de Física - UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Recuperado de [https://www.fisica.unam.mx/personales/hgriveros/docu/Emisiones\\_vehiculares.295183343.pdf](https://www.fisica.unam.mx/personales/hgriveros/docu/Emisiones_vehiculares.295183343.pdf)
- Spedding, D. (1981). *Contaminación atmosférica*. España: Reverté, S.A.
- Suárez, S., y Molina, E. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52 (3), :357-363.
- Tovar, N., y Orjuela, C. (2017). Determinación de acidez del agua lluvia y las condiciones meteorológicas asociadas, en el Parque Arqueológico de San Agustín, Huila. Recuperado de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1712&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1712&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Vélez, J., Valencia, M., Londoño, A., González, C., y Mariscal, J. (2010). *Contaminación del aire y lluvia ácida diagnóstico del fenómeno en la ciudad de Manizales*. Manizales: Universidad Nacional. Blanecolor Ltda.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (1995). *Taller para brindar los términos de referencia para un plan de manejo para el Parque Arqueológico de San Agustín*. Recuperado de <https://whc.unesco.org/en/intassistance/747>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (1995). *Advisory Body Evaluation (ICOMOS). Lista del patrimonio mundial, San*

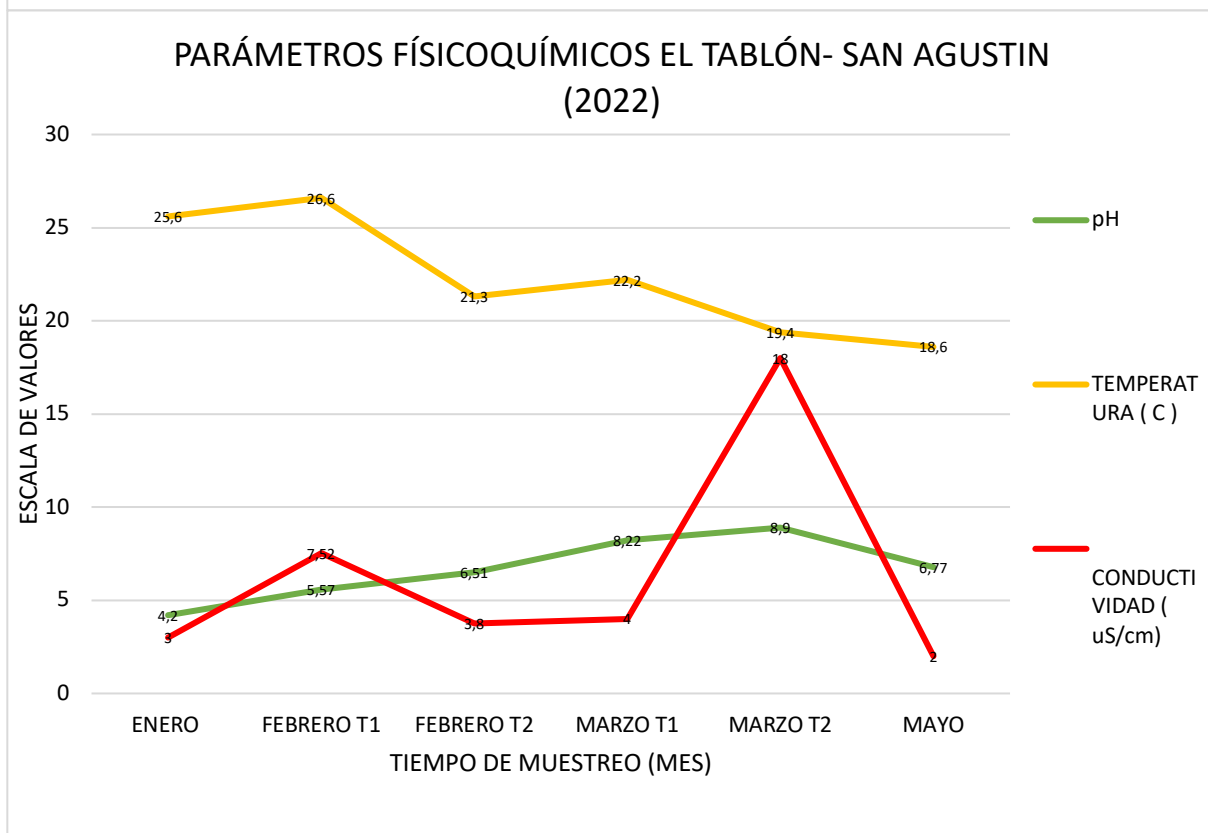
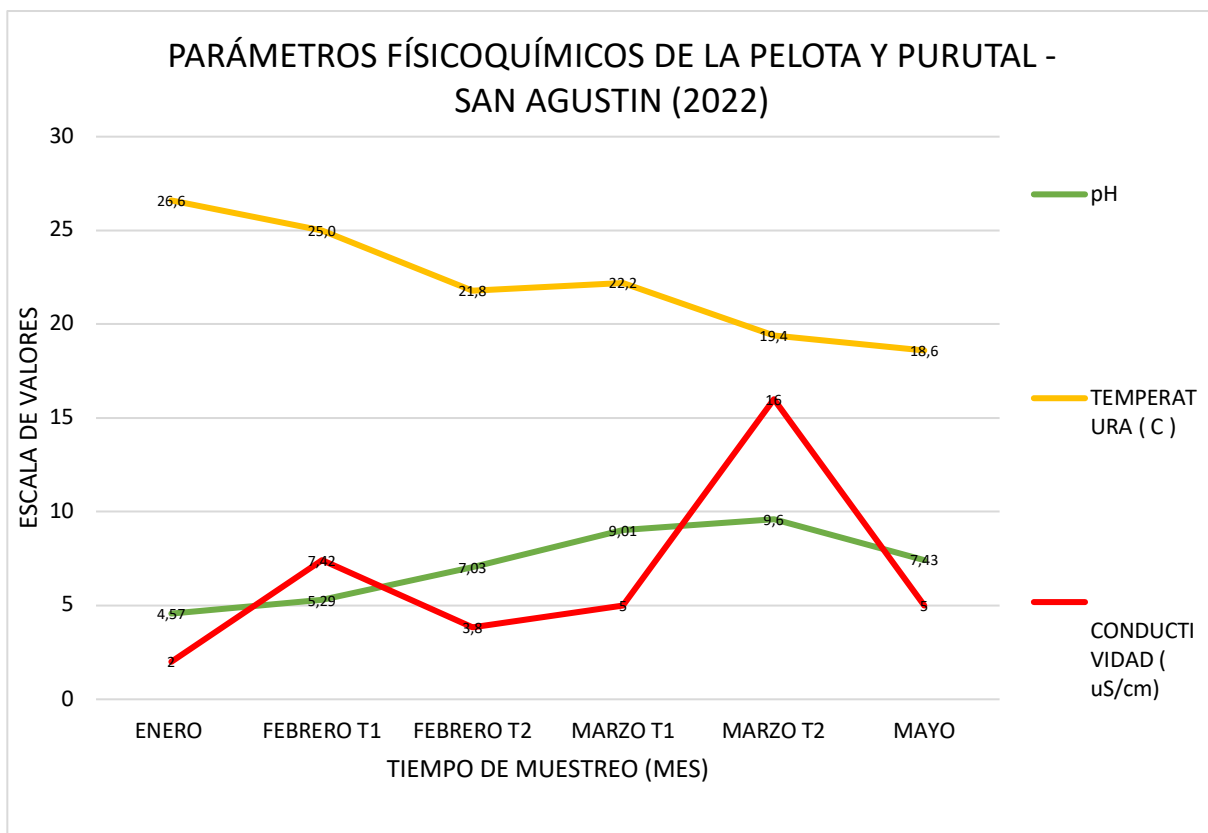
- Agustín N° 744*. Recuperado de <https://whc.unesco.org/en/list/744/documents/>  
Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).  
(2020). *Parque Arqueológico San Agustín*. Recuperado de  
<https://whc.unesco.org/en/list/744/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).  
(2020). *Parque Arqueológico San Agustín - Mapa del inmueble inscrito*. Recuperado de  
<https://whc.unesco.org/document/127750>
- Wark, K., y Warner, C. (2002). *Contaminación del Aire: Origen y Control*. España: Limusa.

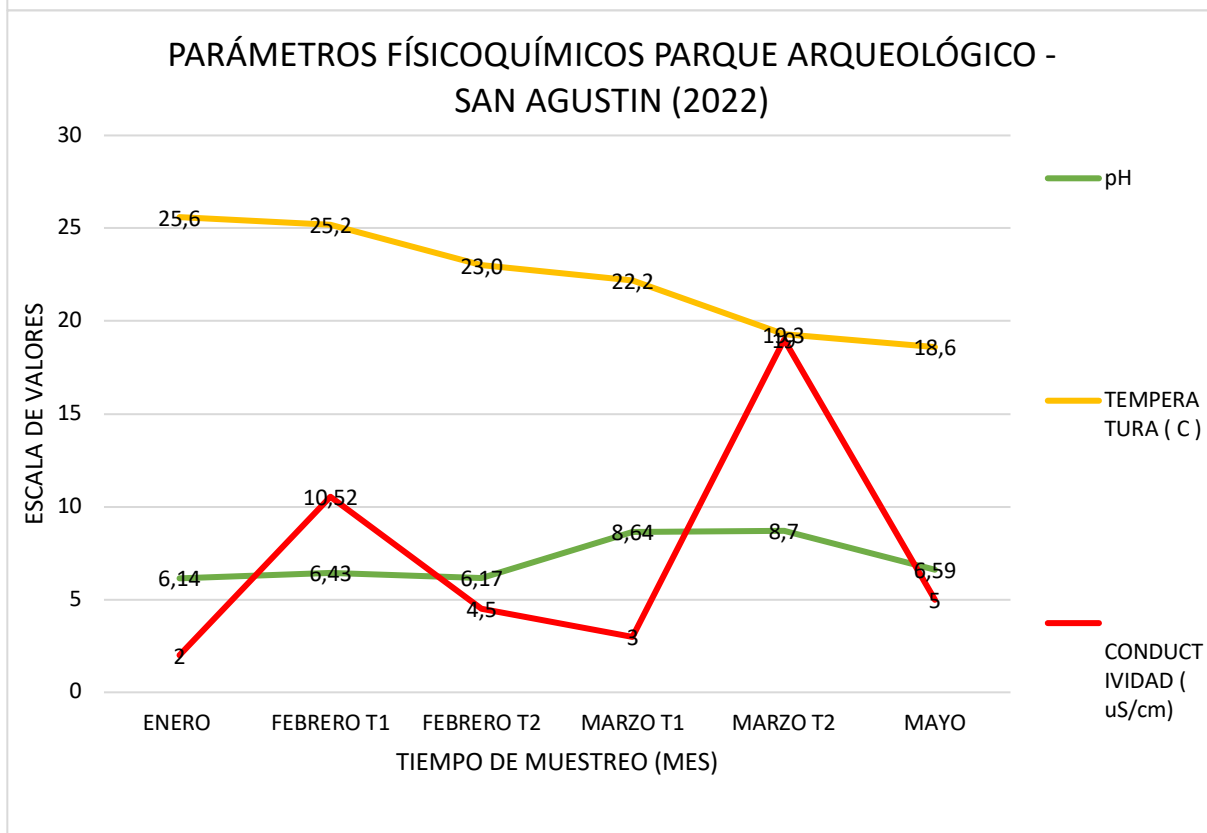
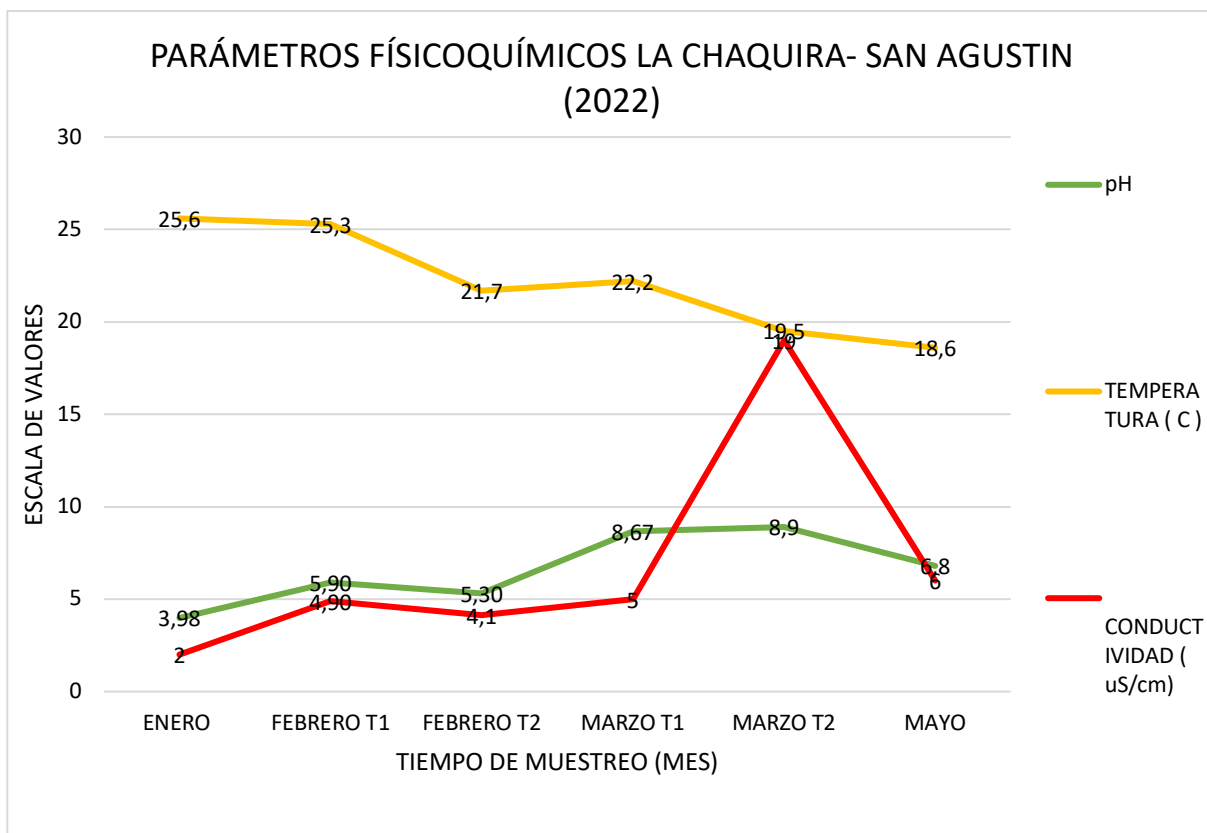
## 9. Anexos

A continuación, se presentan las gráficas con los parámetros de pH, temperatura y conductividad de cada una de las zonas de estudio, este se realiza con el fin de ampliar más la información presentada anteriormente.

### ANEXO 1







## ANEXO 2

**CUESTIONARIO PARA PRUEBA PILOTO**

El presente instrumento busca realizar un análisis cualitativo de los posibles efectos de la lluvia sobre la morfología de las esculturas agustinianas consideradas patrimonio histórico de la humanidad. El estudio se abordará a partir de las consideraciones de los habitantes y visitantes del circuito arqueológico agustiniano. El instrumento de medición a aplicar es la siguiente encuesta (prueba piloto).

Por favor indique los datos que más se ajusten a su persona y tiempo visitando el circuito arqueológico agustiniano, marcando con una "X" en los recuadros que corresponda.

1. Sexo:  Hombre  Mujer
2. Edad:  29 o menos  39  49  59 más
3. Tiempo transcurrido desde su última visita al circuito arqueológico agustiniano:  
 3 meses o menos  6 meses  12 meses  18 meses  2 años  3 años  4 años  5 años o más
4. Motivo de visita al circuito arqueológico agustiniano:  
 Habitante del sector  Turismo  Trabajo en el parque  Investigación
5. Con qué frecuencia visita/ha visitado el circuito arqueológico agustiniano:  
 1 vez  2 a 5 veces  6 a 10 veces  11 veces o más

A continuación, le presentamos una serie de enunciados con el objetivo de valorar las observaciones que tiene sobre el circuito arqueológico agustiniano. Para ello, valore cada uno de los siguientes ítems que hacen referencia a su observación con respecto a los posibles efectos de la lluvia sobre la morfología de las esculturas agustinianas

consideradas patrimonio histórico de la humanidad, en una escala de 1 a 5, siendo 1 el valor mínimo (que indica NADA, NUNCA), 2 (que indica A VECES, POCO), 3 (que indica A MENUDO, ALGO), 4 (que indica MUY A MENUDO, SUFICIENTE) y 5 el valor máximo (que indica MUCHO, SIEMPRE).

N°	Enunciado	Nunc a-Nada	A veces-Poco	A menudo-Algo	Muy a menudo-Suficiente	Siempre-Mucho
		1	2	3	4	5
1.	He visitado los parques que conforman el circuito arqueológico agustiniano.					
2.	Frecuentemente visito el circuito arqueológico agustiniano.					
3.	Me informo sobre la composición de las esculturas agustinianas.					
4.	He observado cambios de coloración en los montículos.					
5.	He visto grietas en las esculturas.					
6.	Evidencio quemas en zonas aledañas al circuito arqueológico agustiniano (llantas, basura, residuos de cocina, bagazo, etc.).					
7.	Antes de llegar al circuito arqueológico					



	agustiniano, me percato de la industria ladrillera en la vía que comunica Pitalito-San Agustín.					
8.	Los gases generados de la industria panelera afectan indirectamente las estatuas del circuito arqueológico agustiniano.					
9.	He observado charcos de agua lluvia cerca de las zonas estatuarias.					
10.	Los techos que cubren los montículos son apropiados para su protección.					
11.	El agua lluvia afecta de manera negativa las estatuas del circuito arqueológico.					
12.	Ha detallado coloración verde (no propia) sobre la estructura de las estatuas.					
13.	Ha detallado coloración rojiza (no propia) sobre la estructura de las estatuas.					
14.	Encuentro zonas con arena en algunos extremos de la					

	morfología de las esculturas.					
15.	Los cambios climáticos influyen en el deterioro de las estatuas del circuito arqueológico agustiniano.					