

Estudio del pH del agua de lluvia en la Subcuenca Huatanay 2019-2020, departamento de Cusco, Perú.

Study of the pH of rainwater in the Huatanay Sub-basin 2019-2020, department of Cusco, Peru.

¹Maxwell Samuel Rado Cuchills, ²Juan José Zúñiga Negrón, ³Brenda Jocelyn Rado Vilca

1. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Educación y Ciencias de la Comunicación. Perú. **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-7848-7926>
maxwell.rado@unsaac.edu.pe
2. Universidad Nacional José María Arguedas de Andahuaylas, Apurímac. Departamento de Ingeniería y Tecnología Agroindustrial. Perú. **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-5615-4821>
jjzuniga@unajma.edu.pe
3. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ingeniería Geológica Minas y Metalúrgica. Perú. **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-3770-885X> th_jocelyn@hotmail.com

Págs: 48-67

Recibido: 6/6/2021

Aprobado: 19/6/2021

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar el pH de las aguas de lluvias en la sub cuenca del Huatanay en los meses de lluvias de los años 2019-2020, a través de monitoreo pluviométrico con pHmetros instalados en 10 puntos. Los resultados muestran acidez básica de las lluvias, posiblemente por la dispersión de gases por vientos dominantes. Para medir el pH se utilizaron pHmetros digitales (uso del potenciómetro); para corroborar los resultados se utilizó el analizador de gases (Aeroqual S500) para medir dióxido de azufre SO₂, dióxido de nitrógeno NO₂, mediante sensor muestreador tipo GSE (electroquímico sensible al gas). Los resultados señalan concentraciones moderadas. Igualmente se realizó el monitoreo de material particulado (PM_{2,5} y PM₁₀), medidos con sensor-ventilador (contador de partículas láser) cuyo resultado indica también valores dentro de los estándares de calidad ambiental.

Palabras clave: pH de lluvia; dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, material particulado.

Abstract

The objective of this work is to determine the pH of the rainwater in the Huatanay sub-basin in the rainy months of the years 2019-2020, through rainfall monitoring with pH meters installed in 10 points. The results show basic acidity of the rains, possibly due to the dispersion of these gases by prevailing winds. Digital pH meters were used to measure pH (use of the potentiometer); to corroborate the results, gas analyzer equipment (Aeroqual S500) was used to measure Sulfur Dioxide SO₂, Nitrogen Dioxide NO₂, by means of the GSE (gas sensitive electrochemical) sampler sensor; the results indicate moderate concentrations. Likewise, the monitoring of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) was carried out, measured with a sensor-fan (laser particle counter) whose result also indicates values within the environmental quality standards.

Keywords: rain pH; Sulfur Dioxide, Nitrogen Dioxide, particulate matter.

Introducción

En la sub cuenca del Huatanay los contaminantes atmosféricos proceden generalmente del crecimiento del parque automotor como fuentes móviles y de fuentes fijas. Los resultados para PM₁₀ muestran que, si bien, los valores promedio diario de cada año no sobrepasan los estándares de calidad ambientales (ECA), sin embargo algunos años dicho valor, habrían llegado a 170 µg/m³.

La investigación de la contaminación atmosférica en las ciudades de la sub cuenca del Huatanay: Cusco, Wanchaq, Santiago, San Sebastián, San Jerónimo, Saylla, Oropesa y Lucre tiene una gran importancia, para sus habitantes. Los efectos negativos de la contaminación atmosférica afectan y deterioran la salud de su población y de los ecosistemas terrestres, acuáticos e híbridos que involucra. (Concertado, Plan D E Desarrollo, 2017).

El interés sobre la polución atmosférica tiene sus inicios en la década de los 70's entre 1972 y 1977, en Estocolmo en la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Humano. Allí se inicia la cooperación internacional en la lucha contra la acidificación o lluvia ácida, y se confirman las hipótesis de que los contaminantes atmosféricos pueden viajar varios miles de kilómetros antes de depositarse y provocar daños que afectan también a las cosechas y los bosques. La temperatura en la tropósfera disminuye a una tasa media de 6,5 °C por cada kilómetro de elevación. Sin embargo puede darse aumentos de temperatura con la altitud por efectos de enfriamiento nocturno cerca al suelo o por efectos de subsidencia en

alturas intermedias, produciéndose la inversión de temperatura por radiación o por subsidencia. (Pabón-Caicedo, 2001).

El gradiente térmico vertical, viene sufriendo anomalías producto de la emisión de los gases de efecto invernadero. Se establecen como objetivos de la investigación: Determinar el pH de las aguas de lluvias en la sub cuenca del Huatanay durante el periodo de lluvias en los años 2019-2020, así como relacionar las concentraciones de SO₂, NO₂ de la sub cuenca del Huatanay con el pH de las aguas de lluvias en la sub cuenca estudiada.

Materiales y Métodos

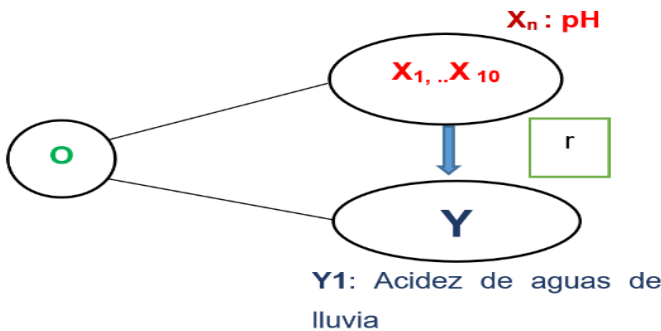
Para el estudio del pH en las aguas de lluvia y monitoreo de gases en la cuenca del Huatanay se optó primero por el reconocimiento de las características de la cuenca a fin de determinar los puntos de muestreo y monitoreo pluviométrico, para concluir con la instalación de dos estaciones meteorológicas como de 10 pluviómetros manuales y proceder al monitoreo de las precipitaciones con el registro del pH de las aguas de lluvia durante los meses de lluvia en los años 2019 y 2020. Se realizó mediciones de precipitación diaria colectado en pluviómetros; tomando los datos del pH que registran los pHmetros en los puntos de observación georreferenciados (Figura 2).

El método consiste en el registro diario del pH de lluvias en 10 puntos seleccionados de la subcuenca del Huatanay, a través de la medición con pHmetros digitales (Ohaus) calibrados,

El registro pluviométrico se concreta con los siguientes pasos:

- Lecturas diarias al volumen (mm), de las precipitaciones colectadas en los pluviómetros a horas 07:00 am.
- En los 10 puntos de observación, se utilizaron pHmetros para registrar la acidez y la temperatura en °C. Los pHmetros calibrados usando solución buffer.
- El pHmetro calibrado se introduce en el recipiente que contiene el agua de lluvia.
- El observador pluviométrico registra en una libreta los datos correspondientes al: volumen de precipitación, pH de lluvia y la temperatura en grados Celsius.

Figura 1.
Esquema de diseño utilizado



Nota. Elaboración propia, esquema de diseño utilizado

Donde:

- O : (10) Puntos de muestreo
- X₁... X₁₀ : (VI), pH de aguas de lluvia ácida en 10 puntos de monitoreo
- Y₁ : (VD), Acidez de aguas de lluvia en 10 puntos de monitoreo.
- r : Relación entre variables independientes y variable dependiente.

De manera complementaria para los días libres de precipitación, se optó por tomar muestras de gases SO₂ (dióxido de azufre) y NO₂ (dióxido de nitrógeno) y PM_{2.5-10} (material particulado). Estos datos fueron registrados por equipos automatizados, solo en los días secos, sin excesiva humedad atmosférica (mayo, junio, julio, agosto y setiembre) meses relativamente secos. El muestreo de los gases contaminantes SO₂, NO₂ considerados precursores de lluvia ácida, así como el registro del PM_{2.5-10}, corroboraron sólo la acidez básica en las aguas de lluvia.

El diseño de investigación es no experimental, transversal y correlacional por las siguientes razones, (Figura 1). No se manipula deliberadamente variables, se observan los fenómenos en un ambiente natural para después analizarlos, se colectan datos en un tiempo determinado para describir variables

Tabla 1.

Puntos de observación pluviométricos para monitoreo del pH de las aguas de lluvia.

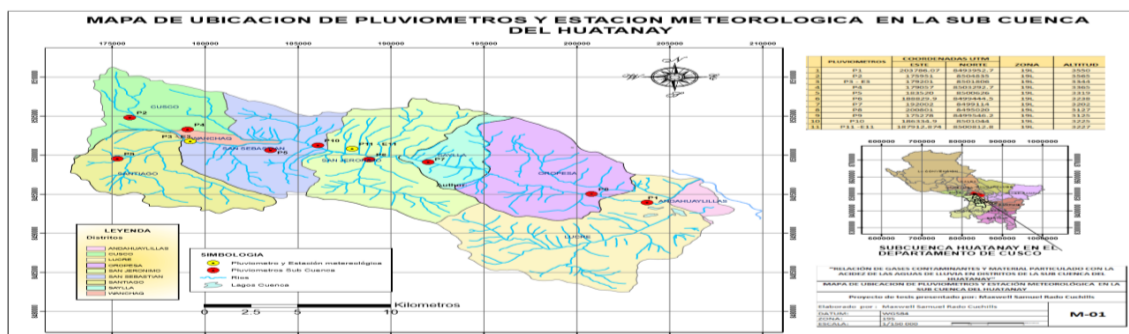
Puntos de Observación Pluviométricos	Altitud	latitud S	Longitud W
Zarzuela Alta – Santiago	3560	13°31'59,69"S	71°59'5,37" O
Tahuantinsuyo - Cusco	3389	13°30'56,93"S	71°58'8,56" O
Wanchaq –Cusco	3364	13°32'4,50"S	71°57'48,73"O
Rosales - San Sebastián	3357	13°31'33,33"S	71°56'13,14"O
Alto Qosqo - San Sebastián	3564	13°31'22,31"S	71°55'24,32"O
San Antonio - San Sebastián	3368	13°32'59,24"S	71°53'59,49"O
Miraflores-San Jerónimo	3360	13°32'35,87"S	71°53'48,66"O
Saylla-Cusco	3212	13°33'37,47"S	71°50'44,71"O
Oropesa –Quispicanchis	3208	13°35'53,33"S	71°45'53,78"O
Huayllarpampa-Quispicanchis	3198	13°36'6,24"S	71°43'24,98"O

Nota. Elaboración propia, a través de proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Los puntos de muestreo se establecieron en función a equidistancias, topografía y localización de fuentes contaminantes a lo largo de 36.5 kilómetros que comprende la sub cuenca. El muestreo fue de tipo no probabilístico por lo que los resultados fueron solo una aproximación que deja la puerta abierta a futuras investigaciones de tipo descriptivo y explicativo, se realizó mediciones de deposición húmeda a través de muestreo y análisis de la calidad de agua de lluvia. Teniendo como parámetro de estudio el pH según la normativa vigente.

Figura 2.

Ubicación de pluviómetros y estaciones meteorológicas.



Nota. Elaboración propia, a través de proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Las lluvias fueron captadas en pluviómetros diariamente en 10 puntos de monitoreo, en las ciudades: Cusco, Santiago, San Sebastián, San Jerónimo, Saylla, Oropesa y Lucre, (Figura 2).

Tabla 2.

Clasificación de la lluvia según su valor de 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. Elaboración propia, a través de proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Para la medición del pH de lluvias se utilizó potenciómetro marca OHAUS en los 10 puntos georreferenciados, el agua fue colectado en pluviómetros manuales asimismo se contó con dos estaciones automatizadas DAVIS para conocer los parámetros pluviométricos e hidrometeorológicos que permiten elaborar mapas de precipitaciones, (Figura 4).

Figura 3.

Pluviómetro sector Saylla.

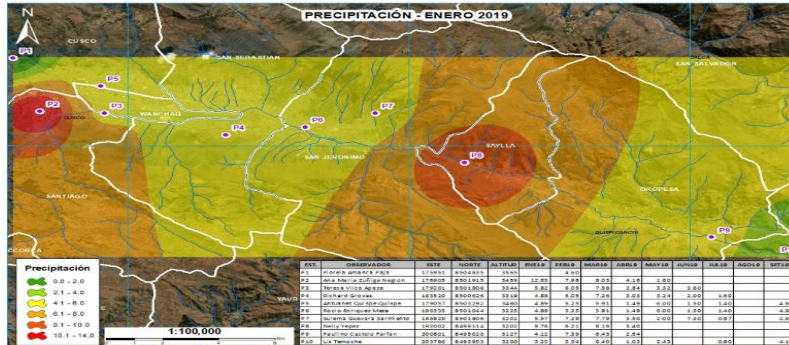


Nota. Elaboración propia, a través de proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

La metodología está basada en el estudio pluviométrico con aplicación del método del pHmetro, para conocer los valores de pH del agua de lluvia.

Figura 4.

Precipitación enero 2019.

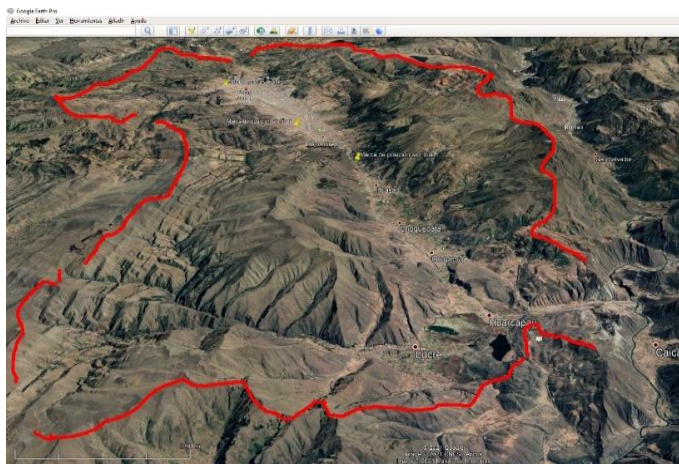


Nota. Elaboración propia, referencia proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Se optó por estudiar y analizar las precipitaciones durante el proceso hidrológico de los años 2019 y 2020, esta delimitación temporal de 02 años permite comparar los resultados de las muestras recolectadas en pluviómetros manuales en 10 puntos de muestreo durante la temporada de lluvias que comprende los meses de enero, febrero, marzo y abril conocido como meses de precipitaciones. Sin embargo los estudios debieran ser por lapsos mayores a dos años a fin de distinguir las variabilidades anuales. (Figura 2) y (Tabla1).

Figura 5.

Orografía cuenca del Huatanay explorador Google Earth 02-03-2021, área de estudio.



Nota. Elaboración propia, a través de Google Earth 02-03-2021.

En los meses de junio, julio, agosto, setiembre y octubre (meses secos), se realizaron monitoreos de los gases SO_2 y NO_2 , para corroborar la baja acidez encontrada en las lluvias; usando el método de muestreo ventilador, usando sensor tipo GSE (electroquímico sensible al gas) de lectura automática. Respecto al monitoreo del dióxido de nitrógeno NO_2 , de modo similar se usa el método de muestreo ventilador mediante el tipo de sensor GSE (electroquímico sensible al gas). Con respecto al monitoreo de material particulado se usó sensor de partículas (PM)_{2.5-10}. Aeroqual Class 1 Laser Producto, Nueva Zelanda, (contador de partículas láser).

Figura 6.

Monitoreando gases SO_2 , NO_2 y $PM_{2.5-10}$



Nota. Elaboración propia, referencia proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Características del Área de Estudio

La subcuenca fluvial del Huatanay, forma parte de la cuenca hidrográfica de Vilcanota-Urubamba; una cuenca exorreica, drenado por un sistema de ríos. La temperatura media anual fluctúa entre 11°C a 16°C, con máximas 21°C a 26°C en verano y mínimas de 7°C a -4°C en invierno. Involucra longitudinalmente a las ciudades: Cusco, Santiago, Wanchaq, San Sebastián, San Jerónimo y Saylla de la Provincia del Cusco, y las ciudades de Oropesa y Lucre de la provincia de Quispicanchis del departamento del Cusco.

Figura 7.

Vista de la zona de estudio sub cuenca del Huatanay



Nota. Tomado de: https://c1.staticflickr.com/1/833/42359555084_56c5d277e7_k.jpg

La subcuenca del Huatanay tiene una forma casi rectangular con declive en el fondo del valle de noroeste a sureste a lo largo de 36,5 Km, tiene un área de 502 Km², longitudinalmente la característica fisiográfica del lecho de río presenta un cauce sinuoso e irregular. (Figura 5), con una población aproximada según el censo de población 2017 es de 447 588 habitantes.

El área está delimitada por las divisorias fluviales por el norte con las montañas del Cusco y por el sur con las serranías residuales de Vilcaconga, El río Huatanay es el río principal y colector común de las aguas del sistema fluvial que nace en la quebrada de Chocco a 3,850 m de altitud, al sur del cerro Ñustayoc.

Haciendo un corte transversal del valle, verticalmente, se encuentra entre 4.842 m.s.n.m (Pachatusan) y 3,285 m.s.n.m de altitud a base del valle; se encuentra en los pisos altitudinales de, Queswa, transición y Puna. A la llegada de los españoles a la ciudad del Cusco, ésta se encontraba densamente ocupada. (Delgado, 2014). Es necesario identificar las causas, problemas y dificultades que genera la contaminación atmosférica y visual para asegurar la conservación y gestión de los monumentos históricos y arqueológicos. (Carreño, 2020).

Las principales actividades antrópicas que involucran procesos de combustión generan emisiones de gases efecto invernadero de larga y corta vida en la cuenca atmosférica del valle del Cusco. (Alzamora y Poblete, 2012). Las alteraciones de la calidad del aire en los espacios urbanos de la sub cuenca del Huatanay se debe al incremento del parque automotor por la importación de automóviles usados como fuentes móviles (tráfico automotor) y de fuentes fijas de combustión (industria ladrillera del valle).

Existen algunos monitoreos con métodos activos para el parámetro PM₁₀, realizados por la Dirección Regional de Salud del Cusco en coordinación con la Municipalidad Provincial, durante los años 2007 al 2014.

En las últimas décadas se observa una polución en ascenso con efectos perjudiciales en la salud humana y el medio ambiente. Las consecuencias relacionadas con la presencia de altos niveles de material particulado en la atmósfera, están altamente relacionadas con enfermedades cardiorrespiratorias en el hombre, deterioro de materiales y otros efectos. De su estudio depende identificar el aporte de las fuentes reales que deterioran la calidad de vida del hombre y su entorno. (Arciniégas, 2011).

Figura 8.

Sector San Jerónimo zona de estudio con alta polución.



Nota. Elaboración propia, referencia proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Los datos satelitales revelan claramente que, en una semana, las emisiones pueden ser transportado a medio camino alrededor del mundo en transoceánicos y plumas transcontinentales, no importa si son de Asia, o América del Norte o África (V. Ramanathan, 2009). Existen conflictos ambientales en sectores urbanos de la subcuenca del Huatanay, como en el caso de San Jerónimo, las entrevistas a directivos comunales y barriales del distrito de San Jerónimo revelan esta problemática por la contaminación de las fábricas de ladrillos (Concertado, Plan D E Desarrollo, 2017).

El 71 % de los dirigentes comunales de San Jerónimo indican que en los tres últimos años se realizaron campañas de forestación y reforestación con especies nativas como la Queuña y el Chachacomo, y el 29 %; para remediar la cobertura arbórea que se ha deforestado para cubrir la necesidad de combustión de los hornos ladrilleros en los últimos 50 años (Concertado, Plan D E Desarrollo, 2017).

Existe una alteración atmosférica en la subcuenca, debido al crecimiento demográfico, el incremento explosivo del parque automotor, pollerías a leña, mayor cantidad de producción de ladrilleras originado la alteración de la calidad del aire.

En las últimas décadas asistimos a una variación estadísticamente significativa ya sea en el estado del clima, la CMNUCC define el cambio climático como "un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables" (OMS/OPS).

De acuerdo con la información histórica disponible sobre la alteración de los sistemas naturales, los efectos del cambio climático en América Latina y el Caribe han sido significativos. Las proyecciones indicaban que en 2020 serían leves, pero que se incrementarían después de 2050 y que incluso podrían ser mayores con un aumento de tan solo 1,5° a 2°C de la temperatura actual (CEPAL).

Las variables climatológicas temperatura del aire y precipitación, sintetizan el comportamiento del clima de una región y/o lugar durante un período determinado, cada lugar presenta relativas particularidades, en la parte inferior de la tropósfera que sirven como núcleos de condensación para la lluvia, vale decir que existe una pequeña variabilidad en la gradiente vertical de la temperatura y su disminución de la temperatura troposférica de 6,5 °C por cada kilómetro de elevación. (Caicedo, 2001), y con respecto a la lluvia se considera ácida a la lluvia que posee niveles de pH menores a 5,6 (E. Duarte, E. Fernández, 2011).

En lugares contaminados por ácido sulfúrico y ácido nítrico el pH de esa lluvia varía entre 5 y 3. La acidez superior a 6 pueden ser útiles, sugieren que la viabilidad técnica y económica del potencial aprovechamiento de las aguas lluvias como alternativa para uso doméstico. (Zúñiga y Arcilla, 2014).

La lluvia ácida como fenómeno troposférico está ligado al alto consumo de combustibles fósiles y de ciertas prácticas agrícolas como las quemadas, que al liberar indiscriminadamente sustancias como los óxidos de azufre y de nitrógeno a la atmósfera, aportan la materia prima para la formación de los ácidos sulfúrico y nítrico, que posteriormente retornan a la superficie terrestre, bien sea como líquidos o como aerosoles y afectan a los ecosistemas naturales. (Hernández L. G., 2011).

Su presencia permite tener una idea del grado de contaminación del aire, producto de reacciones químicas son depositados sobre la superficie terrestre y se forman a partir de precursores gaseosos emitidos por fuentes antrópicas y naturales, principalmente óxidos de nitrógeno y azufre (Vélez Upegui, 2010).

Los gases SO₂, NO₂ y el material particulado PM 2.5 y PM 10 alteran la calidad del aire, en especial el incremento del PM 2.5, con efectos en la salud de la población, el sector transporte es una de las fuentes de emisión más importantes. (Súarez Salas, Luis; Álvarez Tolentino, Daniel; Bendezú, Yéssica; Pomalaya, José, 2017). Las concentraciones de PST,

PM10 y PM2.5, no siempre violan los estándares diarios, para un periodo de muestreo de 24 horas. (Rojano, Angulo, C., & Restrepo, 2013).

El material particulado suspendido en el aire se compone de fragmentos de minerales, cenizas, residuos de combustión de carbón, hollín, producto de combustión de fuel oil, desechos orgánicos, granos de polen, esporas, materiales sintéticos, aerosoles de aceites, gotas de rocío de lluvias ácidas y líquidos diversos, los cuales presentan composiciones químicas y físicas diferentes (Arrieta F., *Dispersión De Material Particulado (Pm10), Con Interrelación De Factores Meteorológicos Y Topográficos*, 2016).

Consideramos importante controlar, mitigar y prevenir la emisión de contaminantes a la atmósfera, con el fin de salvaguardar a la población y al medio ambiente de los efectos de la contaminación del aire (Peña Nieto, 2015).

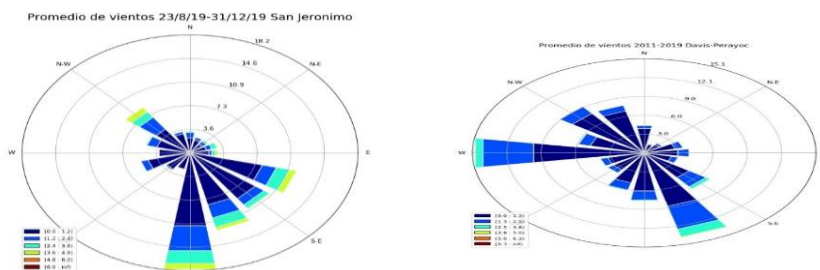
El viento de la sub cuenca del Huatanay influenciado por la geomorfología del valle permite la dispersión de contaminantes. Hay una predominancia de los vientos en el valle de SE, a NE-NW. La dirección y la intensidad fluctúa entre los parámetros de moderado a fuerte, con una variante de W y NW, ello ocurre mayormente en las mañanas, la fisiografía del valle incide en la direccionalidad de los vientos locales, (figura 9-10).

Comportamiento del viento a nivel de subcuenca

En el año 2020 se realizó una observación en un punto medio entre Santiago y San Gerónimo (estación meteorológica de Wanchaq) observándose una predominancia de vientos del oeste. Los vientos se dirigen del distrito de Santiago hacia San Jerónimo. Alcanzan valores de 6 m/s de intensidad. Vientos del nor-oeste, a intensidad de 1.2 a 3.4 y mayores 4.8 m/s y vientos del nor-este, a intensidad de 1.2 a 4.8 m/s.

Figura 9.

Dirección vientos sub cuenca Huatanay, DAVIS-UNSAAC.

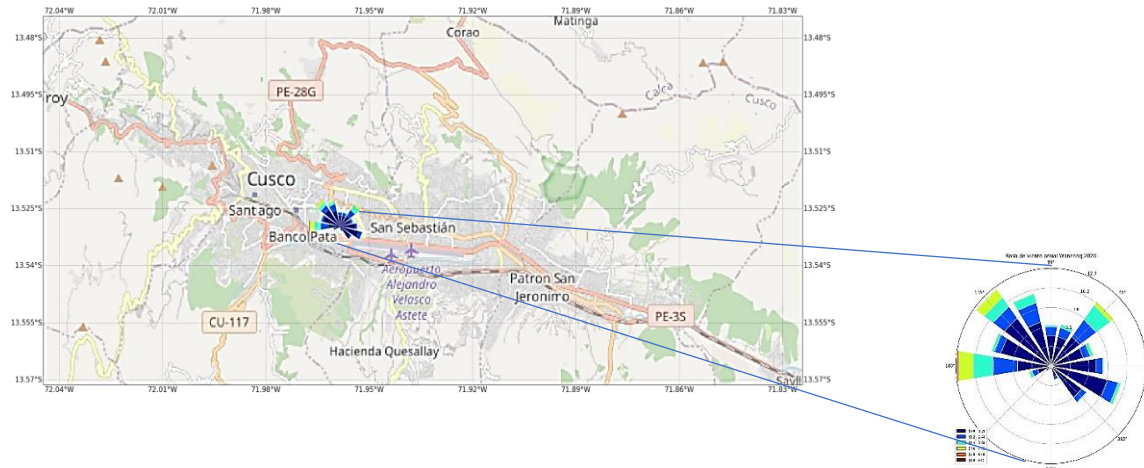


Nota. Elaboración propia, referencia proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

En la siguiente figura se puede observar la trayectoria del viento con respecto a la configuración de la sub cuenca del Huatanay.

Figura 10.

Dirección vientos sub cuenca Huatanay, DAVIS-UNSAAC.



Nota. Elaboración propia, proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Resultados y Discusión

El monitoreo de las lluvias permiten clasificarlos como lluvias con acidez moderada, el proceso de monitoreo y análisis de los resultados nos indican una acidez básica neutra y alcalina en las aguas de lluvia de la subcuenca del Huatanay durante el periodo 2019-2020. Esta acidez de lluvia es corroborada primero por un monitoreo con pHmetros en 10 puntos de observación, (Figura 2) y segundo mediante el monitoreo de gases contaminantes SO_2 , NO_2 empleando equipo (sensores Aeroqual), que señalan concentración bajas de SO_2 , NO_2 , (Figura 6)

Figura 11.

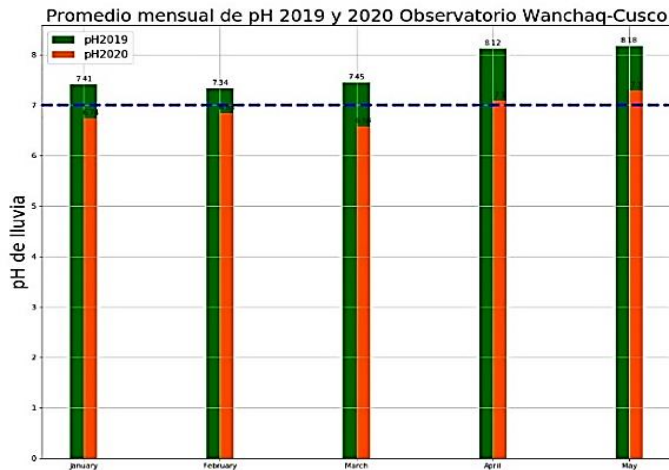
Calibrando pHmetros.



Nota. Elaboración propia, referencia proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Tabla 3.

Promedio de pH de lluvia

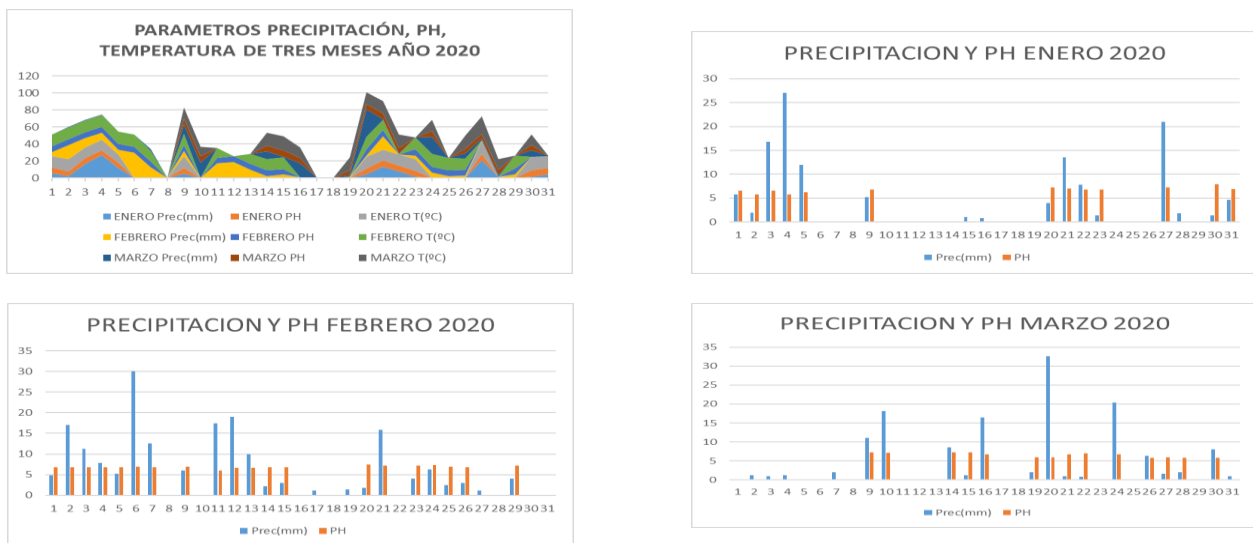


Nota. Elaboración propia, referencia proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

La medición de los gases SO₂ (dióxido de azufre) y NO₂ (dióxido de nitrógeno) y PM_{2.5-10} (material particulado) se realizaron en periodo de estiaje (mayo, junio, julio, agosto) y dan como resultado bajas concentraciones de SO₂ y NO₂, lo que corrobora al pH básico encontrado en las aguas de lluvia en la subcuenca, (Tabla 3).

Figura 12.

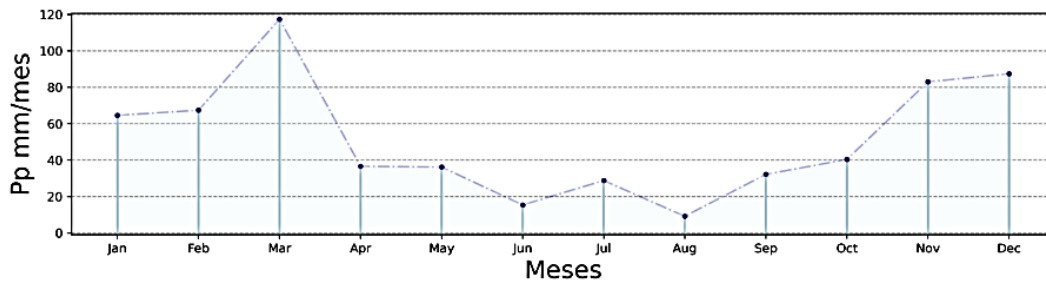
Ph y precipitaciones de la sub cuenca del Huatanay 2020



Nota. Elaboración propia, referencia proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Figura 13.

Precipitación acumulada 2020



Nota. Elaboración propia, referencia proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

El valor máximo de la precipitación acumulada mensual para el año 2020, se encuentra en el mes de marzo con una cantidad de 117.4mm. Asimismo para este año la precipitación acumulada anual fue de 618.6 mm según las estaciones meteorológicas DAVIS. De los mismos se desprende 132 días con precipitación y 234 días sin precipitación.

Con referencia a los gases precursores de lluvia ácida en mayo del 2019, el resultado del monitoreo indica que el valor $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de las concentraciones de SO_2 , NO_2 en la subcuenca se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental para el aire que establece el DS. N° 003-2017-MINAM. A excepción del área de producción de ladrillos en el Distrito de San Jerónimo, que ligeramente supera los límites establecidos.

Tabla 4.

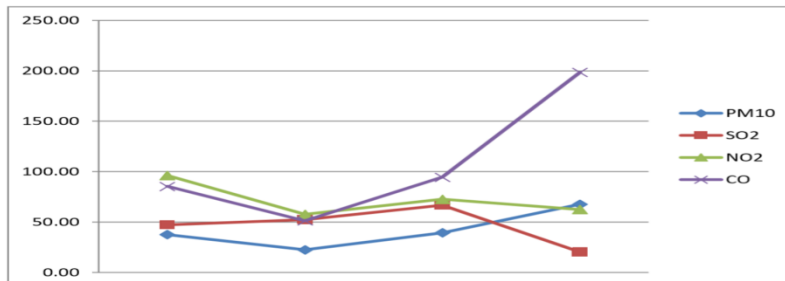
Mediciones PM10, SO2, NO2 y CO. En Pillao Matao - San Jerónimo

Mayo	PM10	SO ²	NO ²	CO
06/052019	37,5648	47,356	96,18336	85,4496
13/05/2019	22,53888	52,416	57,710016	51,26976
20/05/2019	39,4658	66,7536	72,6833	94,549
27/05/2019	67,6512	20,384	62,442784	198,3824

Nota. Elaboración propia, referencia proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Figura 14.

Mediciones de PM10, SO2, NO2 y CO. En Pillao Matao.



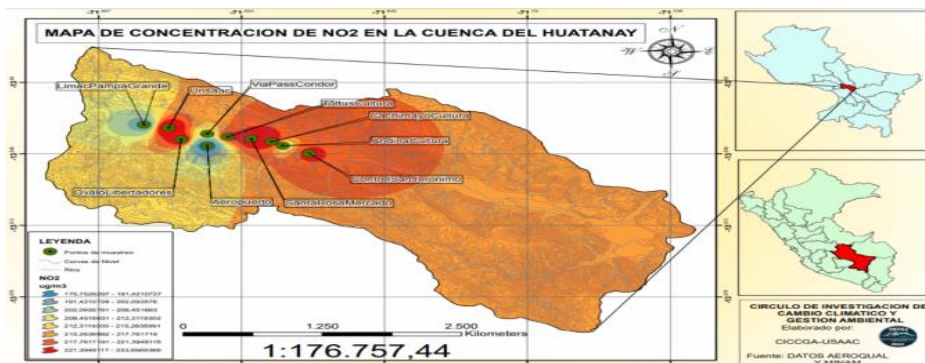
Nota. Elaboración propia, referencia proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Según muestreos de gases por dióxido de azufre SO₂, dióxido de nitrógeno NO₂ y material particulado PM₁₀, y CO; no superan los ECA, a excepción del CO (Cuadro 4 y Figura 14). Los rangos de concentración de gases contaminantes no son suficientes para formar lluvia ácida debido a que el pH es neutro-alcalino, confirmado por las bajas concentraciones de (SO₂, NO₂); con excepción del distrito de San Jerónimo en el sector Pillao Matao, (área de producción ladrillera), principal fuente contaminante, durante en el año 2019, presentó concentraciones ligeramente superiores, con respecto al año 2020 debido a las restricciones de producción y el confinamiento por la emergencia sanitaria mundial.

El flujo de los vientos de algún modo favorece la limpieza de la atmósfera por la dispersión de los contaminantes. La velocidad y dirección del viento como variables meteorológicas tienen un efecto directo en la dispersión de los contaminantes. (Arrieta F, 2016).

Figura 15.

Mediciones de NO2 en los puntos de monitoreo, datos aeroqual.



Nota. Elaboración propia, referencia proyecto de investigación FONDECYT-UNSAAC.

Para conocer con mayor precisión la dinámica del pH en las aguas de las lluvias de la Subcuenca, hay necesidad de contar con un monitoreo sostenido mayor a 02 años. Hay la necesidad de ampliar el estudio del pH de las precipitaciones pluviales en períodos de tiempo mucho más prolongados, para establecer con mayor precisión la frecuencia y las razones por las cuales se producen. (Asado Hurtado, 2015).

Según la percepción de los ciudadanos de la sub cuenca existe en los últimos años notorio incremento de gases contaminantes procedentes del parque automotor y la emisión de ladrilleras; pero aún no generan una lluvia ácida en la sub cuenca; debido a que las mediciones efectuadas nos indican un rango superior a 6 consecuentemente tiene una baja acidez o conocido como de acidez neutra-alkalino, se encuentra por debajo del límite permisible de pH que es de 5,6.

Para frenar el incremento de la contaminación en la sub cuenca es necesario el uso del gas natural como combustible en ladrilleras, panaderías, pollerías y cambiar la matriz energética del parque automotor en la cuenca del Huatanay. Frente a la deforestación de bosques nativos en la sub cuenca del Huatanay desarrollar forestaciones para recuperar especies nativos: Lloque (*Kageneckia lanceolata*) se encuentra dentro de la categoría: Peligro crítico (CR) lo que significa que existe el riesgo de extinción extremadamente alto de sus poblaciones en un futuro inmediato.

Dentro de la categoría Casi Amenazadas (NT) se encuentran Ñucchu (*Salvia oppositiflora*) y Kantu (*Cantua buxifolia*), Huaranhuay (*Tecoma sambucifolia*) y las especies Ch'afra q'euña (*Polylepis microphyla*), Intimpa (*Podocarpus glomaratus*), Ccolle (*Buddleja coriacea*) y Qhishuar (*Buddleja incana*) se encuentran dentro de la categoría En Peligro (EN).

Las especies Chachacomo (*Escallonia resinosa*), Sauco (*Sambucus peruviana*) y Q'euña (*Polylepis incana*) se encuentran dentro de la categoría Vulnerable (VU), las que enfrentan un alto riesgo de extinción en vida silvestre a mediano plazo, por lo tanto, la reforestación es imprescindible.

Conclusión

De los resultados del monitoreo del pH del agua lluvia en la sub cuenca del Huatanay durante los meses de lluvia de los años 2019 y 2020, se concluye que, estas lluvias son básicas, de acuerdo al ECA se encuentra dentro de un rango de baja contaminación atmosférica. Descartándose la presencia de lluvia ácida.

Los registros del pH del agua lluvia monitoreados en 10 puntos de la subcuenca del Huatanay están en un rango de pH entre 6 y 8; el 99% de las lluvias registradas en la zona de estudio se caracterizan como lluvias normales y únicamente el 1% presentó valores cercanos al pH de lluvia ácida.

Durante los meses de lluvia de los años 2019 y 2020, en la subcuenca del Huatanay existe una alta relación entre los registros del pH de aguas de lluvia de 10 puntos de monitoreo con la acidez (acidez básica de las lluvias) y la baja concentración de gases precursores de lluvia ácida.

Los contaminantes atmosféricos de la subcuenca del Huatanay producidos especialmente por la industria ladrillera, localizada en el sector San Jerónimo, en la ciudad del Cusco y el parque automotor, son dispersados por los vientos dominantes de la subcuenca cuya intensidad aumenta entre los meses de julio y agosto con velocidades que ascienden entre 50 y 60 km/hora.

De las lecturas del monitoreo de los gases Dióxido de azufre SO_2 , del Dióxido de nitrógeno NO_2 , se concluye que, las concentraciones se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental para el aire, previstos en el ECA.

El monitoreo de material particulado 2,5 y 10 (PM), indica que los valores en $\mu g/m^3$ se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental para el aire ECA, refrendados por el DS. Nº 003-2017-MINAM. A excepción del área de producción de ladrillos en el distrito de San Jerónimo, que ligeramente se acerca a los límites establecidos por el ECA.

Aún los resultados de este estudio son preliminares, pero sugieren a futuro el aprovechamiento de las aguas lluvias como alternativa para uso doméstico.

Agradecimiento

Los autores del presente trabajo expresan su agradecimiento a los observadores pluviométricos, que hicieron posible la colecta y el registro de las precipitaciones durante el periodo de lluvia del 2019-2020. Igualmente a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, que financió la adquisición de equipos manuales, automatizados, insumos y logística a través de FONDECYT.

Referencias bibliográficas

- Alzamora y Poblete. (2012). *Evaluación de gases efecto invernadero en la cuenca atmosférica del valle del cusco*. cusco: unsaac..
<http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/1107/2/53T20120009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arciniégas, C. A. (2011). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable pm10. *Luna Azul ISSN 1909-2474*, 11-30.
<http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- Arrieta F., A. J. (2016). Dispersión De Material Particulado (Pm10), Con Interrelación De Factores Meteorológicos y Topográficos. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 43-54.
https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5445/4515
- Asado., A. M. (2015). RANGOS DE pH DE LAS AGUAS DE LLUVIA DEL VALLE DE HUÁNUCO. *Investigación Valdizana Vol. 9, Nº 2*, 30.
<http://revistas.unheval.edu.pe/index.php/riv/article/view/46/47>
- Caicedo, P. (2001). *GENERALIDADES DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA*. ISSN-0124-6984: Meteorología Colombiana .
http://gfnun.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero04/04_05.pdf
- Carreño, E. J. (2020). *Estrategias y medidas de prevención y planificación ante los problemas ambientales de los cascos, centros o zonas histórico monumentales: Caso del Centro Histórico del Cusco*. Pais Vasco: Eman ta zabal zazu.
https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/48661/TESIS_CARRE%C3%91O_PERALTA_ELIAS%20JULIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Concertado, Plan D E Desarrollo. (2017). *Municipalidad Distrital de San Jerónimo - Cusco Plan de Desarrollo Concertado del distrito de San Jerónimo*. Cusco: Centro Guaman Poma de Ayala.
http://www.munisanjeronimocusco.gob.pe/Documento_pdf/PLAN/PLAN_DESARROLLO_CONCERTADO_San_Jeronimo.pdf
- Delgado, C. (2014). La ocupación Inca en Conventomoqo Valle del Cusco. *Arqueología y Sociedad*, 95-110.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/Arqueo/article/view/12197/10906>
- Hernández, L. G. (2011). La lluvia ácida : un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Revista lasallista de investigación - VOL. 1 No. 2*, 1-6.
<https://www.redalyc.org/pdf/695/69510211.pdf>

- Pabón-Caicedo, J. D. (2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorología Colombiana*, 47-59.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap3-i.pdf>
- Peña Nieto, E. (2015). *Estrategia Nacional de Calidad del Aire Visión 2017-2030*. Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Mexico.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/195809/Estrategia_Nacional_Calidad_del_Aire.pdf
- Rojano, R. E., Angulo, C., L., & Restrepo, G. (2013). Niveles de partículas suspendidas totales (PST), PM10 y PM2.5 y su relación en lugares públicos de la ciudad riohacha, caribe colombiano. *Informacion Tecnologica*, 37-46.
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000200006
- Súarez., L. (2017). Caracterización química del material particulado atmosférico del centro urbano de huancayo, Perú. *Rev Soc Quím Perú*. 83(2) 2017, 187.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v83n2/a05v83n2.pdf>
- V. Ramanathan, y. F. (2009). Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives V. *Atmospheric Environment*, 37-50.
file:///C:/Users/unsaac/Downloads/dot_17308_DS1.pdf
- Vélez Upegui, J. J. (2010). *Contaminación del aire y lluvia ácida, diagnóstico del fenómeno en la ciudad de manizales*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Velez-19/publication/236794308_Contaminacion_del_Aire_y_Lluvia_Acida_Diagnostico_del_fenomeno_en_la_ciudad_de_Manizales/links/00b495317282bbc382000000/Contaminacion-del-Aire-y-Lluvia-Acida-Diagnostico-del-fenomeno-en-la-ciudad-de-Manizales.pdf
- Zúñiga y Arcilla. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 225 - 237.
<http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.812>.
[file:///C:/Users/unsaac/Downloads/812-Article%20Text-1854-1-10-20150408%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/unsaac/Downloads/812-Article%20Text-1854-1-10-20150408%20(6).pdf)