

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**Determinación de la presencia de lluvia acida,  
un factor de la degradación del medio  
ambiente en la ciudad de Cerro de Pasco  
(Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha)**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Ambiental**

**Autor: Bach. Alejandro Jeanpiere FRANCO RAMOS**

**Asesor: Mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA**

**Cerro de Pasco – Perú – 2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**Determinación de la presencia de lluvia acida,  
un factor de la degradación del medio  
ambiente en la ciudad de Cerro de Pasco  
(Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha)**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

---

Mg. Rosario Marcela, VASQUEZ GARCIA  
PRESIDENTE

---

Dr. Rommel, LOPEZ ALVARADO  
MIEMBRO

---

Mg. Cayo, PALACIOS ESPIRITU  
MIEMBRO

## DEDICATORIA

*A Dios, fuente de todo bien, por permitirme el suficiente entendimiento para llegar a este punto de mi vida.*

*A mi madre Zenaida Ramos Ponce y hermana Ingridt Dayli Franco Ramos; pues sin el cariño y apoyo de mi familia seguramente hubiera perdido el camino.*

*A todos que contribuyeron en mi crecimiento profesional gracias, pues el momento en que las palabras suficientes para expresar lo que el alma desea, rebasan un tomo, simplemente queda decir aquello que por su significado extenso y sin límites es, **GRACIAS.***

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por su fuerza y fortaleza para el bienestar de mi vida.

A mi madre y hermana por apoyarme en todo momento durante mi vida y brindarme su apoyo incondicional.

A los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Ambiental por sus consejos y oportunas orientaciones que contribuyeron a mi formación profesional.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron con el presente trabajo de investigación.

## **PRESENTACIÓN**

En cumplimiento al mandato previsto en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, me permito presentar a vuestra

consideración esta Tesis Intitulada “**Determinación de la presencia de Lluvia Ácida, un factor de la degradación del medio ambiente en la ciudad de Cerro de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha)**”, con la finalidad de optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Las razones por el cual he optado en presentar este tema, está referido en proporcionar un instrumento para conocer datos reales y actuales de la presencia de lluvias ácidas en la ciudad y como ésta influye en la degradación del medio natural, que es un problema universal.

Las actividades industriales por parte de las compañías mineras, transporte vehicular y actividades de la población son las que están generando contaminación atmosférica y por tanto en consecuencia se producirán las lluvias ácidas y el estudio pretende determinar la existencia de lluvias ácidas en la zona de estudio por medio del monitoreo del parámetro del pH.

**El Tesista.**

## **RESUMEN**

Este estudio ha sido desarrollado mediante la recopilación de la información básica disponible como los resultados de las mediciones y/o monitoreos de las lluvias se evaluó en el tiempo húmedo en tres distritos de la provincia de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha), para luego identificar el grado de acidez y como esta influye en la degradación del medio ambiente de la zona de

estudio; lo que ha permitido identificar el estado actual del ecosistema involucrado con el proyecto en su fase de ejecución.

Es así que el presente trabajo consiste en determinar la presencia de lluvias ácidas en la ciudad de Cerro de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha) y como esta influye en la degradación del medio ambiente. **La técnica utilizada** para la recolección de datos fueron: Observación, resultados de Monitoreo del pH de las lluvias de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha, el **tipo de investigación** es básica descriptiva (cuasi –experimental), con enfoque mixto (cuantitativo – cualitativo). **Diseño de investigación:** El estudio presenta un diseño longitudinal de tipo prospectivo. El estudio **concluye** en lo siguiente: Las lluvias ácidas constituyen una amenaza ilimitada sobre nuestro ambiente, es uno de los más grandes problemas que tiene planteado la sociedad actual. Es un precio demasiado elevado el que estamos pagando por causa de nuestra creciente industrialización. Es el ser humano quien en última instancia, debe resolver este acuciante problema, no podemos permanecer pasivos ante dicho fenómeno, ya que la recuperación de los medios naturales redundará en nuestro propio beneficio y en las especies animales y vegetales que con nosotros cohabitan. Lo esencial del problema estriba en que los vientos y masas de aire transportan emisiones contaminantes de unas áreas a otras. Vientos y masas de aire no entienden de fronteras y, por ello, la polución ambiental se convierte en un problema de ámbito internacional. Los resultados del monitoreo de pH de las lluvias de la ciudad de Cerro de Pasco en sus 8 puntos de monitoreo, correspondientes a los años 2011 (Octubre, Noviembre y Diciembre) y del año 2012 (Enero, Febrero y Marzo) que son épocas de estiaje, dichos resultados fueron analizados y contrastados con otros estudios, puesto que no existe aún

una normativa para tal caso. Los valores obtenidos demuestran que en más del 80% de los puntos evaluados existe la presencia de **Lluvia Ácida** de forma ligera o moderada, los valores que se presentaron fueron desde un pH **4.4 hasta 6.0**. La presencia de lluvia ácida con frecuencia fueron en los puntos de muestreo: **PLL1, PLL2, PLL5, PLL6 y PLL7**, que son zonas de mayor presencia de diferentes vehículos y maquinaria de actividad minera, así mismo con mayor actividad de la población. Las frecuentes causas que se pudieron observar para producirse las lluvias ácidas fueron la quema de residuos sólidos, gran cantidad de medios de transporte, presencia de maquinaria pesada para actividades mineras, contaminación por actividades propias de la población, entre otras. Entre los efectos que se pudo observar se tiene al deterioro de las viviendas, infertilidad del suelo lo que es uno de los factores para la inexistencia de vegetación, infecciones respiratorias causadas por neblina ácida, entre otras.

**Palabras claves:**

**Lluvia Ácida:** Lluvia con ácidos disueltos, principalmente ácido sulfúrico y nítrico, procedentes de combustibles fósiles y de motores de explosión.

**Polución:** Contaminación del medio ambiente, en especial del aire o del agua, producida por los residuos procedentes de la actividad humana o de procesos industriales o biológicos.

**pH del agua de lluvia:** La **lluvia** limpia normal tiene un valor de **pH** de entre 5.0 y 5.5, nivel levemente ácido. Sin embargo, cuando la **lluvia** se combina con dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno—producidos por las centrales eléctricas y los automóviles—la **lluvia** se vuelve mucho más ácida. La **lluvia** ácida típica tiene un valor de **pH** de 4.0.

## **SUMMARY**

This study has been developed by compiling the basic information available as the results of the measurements and / or monitoring of the rains was evaluated in the wet weather in three districts of the province of Pasco (Chaupimarca, Yanacancha and Paragsha), for later identify the degree of acidity and how it influences the degradation of the environment of the study area; what has allowed to identify the current state of the ecosystem involved with the project in its execution phase.

Thus, the present work consists in determining the presence of acid rain in the city of Cerro de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha and Paragsha) and how it influences the degradation of the environment. The technique used for the collection of data were: Observation, results of monitoring of the pH of the rains of Chaupimarca, Yanacancha and Paragsha, the type of research is basic descriptive (quasi-experimental), with a mixed approach (quantitative - qualitative).

Research design: The study presents a longitudinal design of a prospective type. The study concludes in the following: Acid rains constitute an unlimited threat to our environment, it is one of the biggest problems that society has today. It is too high a price that we are paying because of our growing industrialization. It is the human being who ultimately must solve this pressing problem, we can not remain passive in front of this phenomenon, since the recovery of natural means will redound in our own benefit and in the animal and plant species that cohabit with us. The essence of the problem is that the winds and masses of air transport pollutant emissions from one area to another. Winds and air masses do not understand borders and, therefore, environmental pollution becomes a problem of international scope. The results of the pH monitoring of the rainfall of the city of Cerro de Pasco in its 8 monitoring

points, corresponding to the years 2011 (October, November and December) and the year 2012 (January, February and March) which are times of drought, these results were analyzed and contrasted with other studies, since there is still no regulation for such a case. The values obtained show that in more than 80% of the evaluated points there is the presence of Acid Rain in a light or moderate way, the values that were presented were from pH 4.4 to 6.0. The presence of acid rain was often at the sampling points: PLL1, PLL2, PLL5, PLL6 and PLL7, which are zones with a greater presence of different vehicles and machinery of mining activity, as well as with greater activity of the population. The frequent causes that could be observed to produce the acid rains were the burning of solid waste, large amount of means of transport, presence of heavy machinery for mining activities, contamination by activities of the population, among others. Among the effects that could be observed is the deterioration of housing, soil infertility which is one of the factors for the absence of vegetation, respiratory infections caused by acid mist, among others.

### **Keywords:**

**Acid Rain:** Rain with dissolved acids, mainly sulfuric and nitric acid, from fossil fuels and explosion engines.

**Pollution:** Pollution of the environment, especially air or water, produced by waste from human activity or industrial or biological processes.

**Rainwater pH:** Normal clean rain has a pH value between 5.0 and 5.5, a slightly acid level. However, when rain is combined with sulfur dioxide and nitrogen oxides — produced by power plants and cars — the rain becomes much more acidic. Typical acid rain has a pH value of 4.0.

## ÍNDICE

	<b>PÁGINA</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>iii</b>
<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>viii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xv</b>

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Determinación del Problema	1
1.2 Formulación del Problema	3
1.2.1 Problema General	3
1.2.2 Problemas Específicos	3
1.3 Formulación de Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Justificación	5
1.5 Importancia y Alcances de la investigación	8
1.6 Limitaciones	8

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes	9
2.2. Marco de Referencia	14
2.2.1 Lluvia Ácida	14
2.2.2 Formación de la Lluvia Ácida	15
2.2.3 Efectos de la Lluvia Ácida	17
2.2.4 Daños Medioambientales	20
2.2.5 Contaminantes y sus Efectos	21
2.2.6 ¿Qué Agentes la Producen?	28
2.2.7 Medidas para Reducir las Emisiones	28
2.2.8 ¿Cómo se Rastread las Fuentes de Lluvia Ácida?	32
2.2.9 Método de Medición	34
2.2 Definición de Términos	36
2.3 Sistema de Hipótesis	39
2.3.1 Hipótesis General	39
2.3.2 Hipótesis Específicas	39
2.4 Definición de Variables	39
2.4.1 Variable Dependiente	39
2.4.2 Variable Independiente	39

**CAPÍTULO III**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. MÉTODO	40
3.1.1. Tipo de Investigación	40
3.1.2. Diseño de Investigación	40
3.1.3. Población y Muestra	41
3.1.3.1. Población	41
3.1.3.2. Muestra	41
3.1.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	42
3.1.5. Metodología de Ejecución del Proyecto	43
3.1.6. Análisis de Datos	44
3.1.7. Área de Estudio	45
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	47

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. FASE DE ESTUDIO	48
4.1.1 Resultados del Monitoreo de pH de las llluvias de la Ciudad de Cerro de Pasco, para identificar y determinar la presencia de llluvias Ácidas.	49
4.1.2 Identificación y Determinación de las causas de las llluvias ácidas en la ciudad de Cerro de Pasco	62
4.1.3 Determinación si las llluvias ácidas son fuente de deterioro ambiental en la zona de estudio.	62
4.1.3 Identificación de los daños que causan las llluvias ácidas en la zona de estudio	64

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO N° 1:</b>	50
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – OCTUBRE 2011	
<b>CUADRO N° 2:</b>	52
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – NOVIEMBRE 2011	
<b>CUADRO N° 3:</b>	54
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – DICIEMBRE 2011	
<b>CUADRO N° 4:</b>	56
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – ENERO 2012	
<b>CUADRO N° 5:</b>	58
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – FEBRERO 2012	
<b>CUADRO N° 6:</b>	60
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – MARZO 2012	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA N°1:</b>	35
PARÁMETROS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS (DEPÓSITO HÚMEDO)	
<b>TABLA N°2:</b>	36
PARÁMETROS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS (DEPÓSITO SECO)	
<b>TABLA N° 3:</b>	43
PUNTOS DE MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE PASCO 2011 - 2012	
<b>TABLA N° 4:</b>	46
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA N° 1:</b>	17
FORMACIÓN DE LLUVIAS ÁCIDAS	
<b>FIGURA N° 2:</b>	24
EFFECTOS DE LLUVIA ÁCIDA EN BOSQUES	

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO N° 1:</b>	51
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – OCTUBRE 2011	
<b>GRÁFICO N° 2:</b>	53
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – NOVIEMBRE 2011	
<b>GRÁFICO N° 3:</b>	55
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – DICIEMBRE 2011	
<b>GRÁFICO N° 4:</b>	57
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – ENERO 2012	
<b>GRÁFICO N° 5:</b>	59
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – FEBRERO 2012	
<b>GRÁFICO N° 6:</b>	71
RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – MARZO 2012	

## INTRODUCCIÓN

¿El mundo afronta las evidentes muestras de contaminación en la actualidad?, lluvia ácida, efecto invernadero, cambio climático y alteraciones de la capa de ozono, que están afectando la salud humana, biodiversidad y ecosistemas; son más evidentes en las naciones subdesarrolladas como el Perú. En la Ciudad de Cerro de Pasco es muy marcada la contaminación ambiental, que eliminan sus agentes contaminantes sin un tratamiento adecuado a los recursos de agua, aire y suelo.

Lars O. Hedin y Gene E. Likens. **“Fragmento de Polvo Atmosférico y Lluvia Ácida: menos polvo, más daños. “El problema de la Lluvia Ácida”**, en febrero de 1997 menciona que: compuestos químicos con un PH mayor que 7 en los polvos atmosféricos tienen un efecto beneficioso para contrarrestar la acides de la deposición acida, ya que la disminución de estos polvos atmosféricos refleja principalmente cambios en la conducta humana, más que variaciones naturales.

Esther Álamo y Patricia Rodríguez **“Lluvia Ácida” – “La Lluvia Ácida en Uruguay”** Abril 1998. Realizaron un trabajo de investigación sobre los efectos de la lluvia ácida en diferentes materiales (mármol, bronce, textiles) y en seres vivos mediante la realización de ensayos de laboratorio produciendo lluvia ácida artificialmente, pudiendo apreciar los efectos negativos como la aceleración en el proceso de degradación de los materiales analizados, alteraciones en plantas (actividad clorofiliana) y modificaciones en su equilibrio vegetal; así como, los efectos negativos en ratones blancos, lombrices y caracoles de tierra. Noticiero Guillermo Ortega Reportaje **"Lluvia Ácida en México" 1998**. En dicho artículo se hace mención y análisis de las lluvias acidas y su efecto negativo en la salud de la población de México.

El Mundo (Periódico) **“Lluvia ácida sobre Rumanía (Europa)”**, en dicha publicación de mayo de 1999 indican que se registraron presencia de lluvia acida en Rumanía por tal motivo su medio ambiente se vio altamente afectado

pudiéndose apreciar que los árboles en bosques perdían más hojas que lo común, la muerte inexplicable de abejas, la contaminación y muerte de gran cantidad de peces etc.

Hospital El Carmen de Huancayo, Médico Cirujano, 2da. Especialidad Ginecología y Obstetricia, Master en Medicina e Investigador del Medio Ambiente. **“Huancayo una Ciudad Contaminada – Lluvia Ácida”**, en sus conclusiones menciona que la lluvia que cae por todo el Valle del Mantaro es ácida en un 48% y esta es producida principalmente por los 17 centros mineros en actividad que tiene dicha región, ocasionando trastornos ambientales que ahora toca afrontar a la humanidad.

Este trabajo se realiza en la ciudad de Cerro de Pasco porque no es ajena a este problema ya que dichos antecedentes también están presentes en cierta manera en nuestra ciudad. El propósito de esta investigación es la determinación de la presencia de lluvia ácida en la Ciudad de Cerro de Pasco como factor de la degradación del medio ambiente. El problema nace inicialmente del análisis visual del entorno. Por tal motivo, la determinación del problema es: ¿Qué grado de acidez presentan las lluvias en las zonas de estudio y que problemas está generando al ambiente de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha? Y su objetivo de estudio es: Establecer y Determinar los problemas que ocasionan al medio ambiente la presencia de Lluvia Ácida en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha. Tendiendo como hipótesis: Las aguas de lluvia ácida en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha ocasionan problemas y daños al medio ambiente.

Los aportes mediante este estudio son:

En forma teórica, como antecedente bibliográfico de prueba real para la población pasqueña y en general del estado de degradación del medio ambiente de las zonas de estudio por consecuencia de sus lluvias ácidas, para que puedan hacerse comparaciones y/o análisis con los años posteriores como esta acidez ha ido variando durante el tiempo, los daños que puedan causar en un futuro al medio ambiente y a la población. Así mismo este estudio pretende servir como fuente de ideas que permitan implementar normativas ambientales acerca de lluvias ácidas, ya que no existe una ley o artículo que puntualice acerca de degradación y contaminación al medio ambiente y a las personas por precipitaciones pluviales ácidas.

En forma social, "Raice Awarness" término inglés utilizado en muchos países para "Sensibilizar" a la población porque necesitamos cambiar, modificar y mejorar nuestros actos y costumbres, la forma como la contaminación ambiental está presente ya muestra consecuencias y el objetivo es dejar un mejor mundo para nuestras futuras generaciones

En forma económica, promover la compra de otro tipo de materiales para los techos de las viviendas ya que el tiempo de vida de las calaminas es muy corta, promover el uso de recubrimientos protectores anticorrosivos para disminuir la corrosión acelerada de portones, banquetas, estatuas, los materiales de construcción como acero, pintura, plásticos, cemento, mampostería, acero galvanizado, piedra caliza, piedra arenisca y mármol también están expuestos a sufrir daños. La frecuencia con la que es necesario aplicar nuevos recubrimientos protectores a las estructuras va en aumento, con el consecuente costo-beneficio adicional, utilizar tecnología limpia, etc.

Los resultados fueron analizados y contrastados con otros estudios, puesto que no existe aún una normativa para tal caso. Los valores obtenidos demuestran que en más del 80% de los puntos evaluados existe la presencia de **Lluvia Ácida** de forma ligera o moderada, los valores que se presentaron fueron desde un pH **4.4 hasta 6.0**. La presencia de lluvia ácida con frecuencia fueron en los puntos de muestreo: **PLL1, PLL2, PLL5, PLL6 y PLL7**, que son zonas de mayor presencia de diferentes vehículos y maquinaria de actividad minera, así mismo con mayor actividad de la población.

La ausencia de normativa ambiental que mencione el tema de lluvias ácidas, límites máximos permisibles, ausencia de interés en el gobierno local y regional son las principales limitaciones que se hallaron en el desarrollo de este estudio. Como sugerencias se puede mencionar el interés del caso que debemos darle a este problema ambiental que nos viene aquejando en la actualidad, promover campañas de sensibilización en colegios y escuelas sobre los efectos de los diversos tipos de contaminación, promover el uso de protectores anticorrosivos y uso de materiales alternativos para las contracciones que sean resistentes y eviten una corrosión rápida por efecto de las precipitaciones pluviales y la implementación de la normativa ambiental con respecto a este tema.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Determinación del Problema

La contaminación atmosférica originada a partir de las actividades del hombre, se ve altamente incrementada a medida que la población aumenta, desde la llegada de la era industrial adquiriendo toda su magnitud en nuestros días. Como consecuencia de la contaminación atmosférica, el planeta está sufriendo graves secuelas afrontando evidentes muestras de dicha contaminación: efecto invernadero, cambio climático y alteraciones de la capa de ozono siendo quizá la más preocupante el fenómeno denominado **lluvia ácida**, que tiene su origen en la combinación de la humedad atmosférica con las sales ácidas como los sulfatos, nitratos, carbonatos, etc. Y que precipitan en forma de deposición húmeda y/o seca. Estas sales ácidas contaminantes son el producto final de la cadena de reacciones químicas de oxidación, reducción e hidrólisis que experimentan los gases de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y otros.

Las causas de esto tienen que ver con las deficiencias tecnológicas e incremento del consumo de combustibles, generado por la falta de eficiencia, las elevadas concentraciones demográficas e industriales y

el rápido aumento del número de vehículos automotores. Las cuales están afectando la salud humana, biodiversidad y ecosistemas; más evidentes en las naciones y países de primer mundo y en vías de desarrollo como el Perú. Teniendo como precedente que algunos reportes de lluvias tremendamente ácidas (**pH 3.5 a 4.2**) en los distritos de la Oroya y Santa Rosa de Saco y ácida (**pH 4.2 a 5.6**) en las provincias de Yaulí, Junín, Tarma, Jauja, Chupaca Huancayo, Chanchamayo, Oxapampa, Concepción (SENAMHI 2006).

La ciudad de Cerro de Pasco no es ajena a esta problemática ya que se produce también la contaminación de su medio ambiente y de los recursos que presenta, y que está dado por las actividades mineras y propias de los pobladores, crecimiento poblacional, parque automotor, entre otras causas, y por tanto el estudio pretende determinar la presencia de lluvias ácidas en la zona.

El presente estudio se ha realizado por una revisión de la bibliografía actualizada, extranjera y nacional, en versión impresa e internet y tiene por objetivo el conocer si existe la presencia de lluvia ácida en la ciudad, cómo se origina, trastornos que ocasiona y específicamente como este dato puede prevenir o alertar sobre la contaminación del medio en estudio.

Por tanto el presente estudio trata de identificar y determinar el grado de contaminación en la ciudad de Cerro de Pasco por las lluvias ácidas, realizado por el monitoreo de parámetros que nos indicará el grado de

acidéz de las lluvias y como se puede prevenir problemas de contaminación en la zona de estudio; para lo cual se plantea el siguiente problema de investigación:

## **1.2 Formulación del Problema**

El problema que se plantea es:

### **1.2.1 Problema General**

1. ¿Qué grado de acidez presentan las lluvias en las zonas de estudio y que problemas está generando al ambiente de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

1. ¿Cuáles son las causas de las lluvias ácidas en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha?
2. ¿Cuál es el grado de acidez de las lluvias en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha?
3. ¿Las lluvias ácidas son fuente de degradación de los recursos naturales de la ciudad?
4. ¿Qué daños causan al medio ambiente las lluvias ácidas en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha?

## **1.3 Formulación de Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

1. Establecer y Determinar los problemas que ocasionan al medio ambiente la presencia de Lluvia Ácida en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar las causas de las lluvias ácidas en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha.
2. Monitorear el pH de las lluvias que se forman en Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha para determinar su grado de acidez.
3. Determinar si las lluvias ácidas son fuente de deterioro ambiental.
4. Identificar los daños que causan al medio ambiente las lluvias ácidas en las zonas de estudio.

### **1.4 Justificación**

La degradación del medio ambiente en Cerro de Pasco por las diversas actividades antropogénicas realizadas durante mucho tiempo ha sido motivo de estudios y análisis de su suelo, aire y agua. Con respecto a la contaminación del agua se ha venido realizando diversos estudios acerca de la contaminación de nuestros ríos, lagos y lagunas; pero, ¿Que tanto tomamos en cuenta a las precipitaciones pluviales?, lluvias que se encuentran presentes en todo el año y en gran medida son más frecuentes e intensas durante los meses de Octubre a Marzo. Mediante

este estudio pretende determinar la presencia de acidez en las precipitaciones pluviales en las zonas de estudio.

Al respecto, la LEY GENERAL DEL AMBIENTE N°28611, en su Artículo N°1 Del derecho y deber fundamental nos dice que; toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

En su artículo N° 53 menciona el rol de carácter transectorial: entidades con funciones de salud ambiental corresponde Acciones de Vigilancia.

LEY GENERAL DE AGUAS: Decreto Ley N° 17752 en su Artículo N°1 menciona a la Inalienabilidad e imprescriptibilidad de las aguas. Las aguas, sin excepción alguna, son de propiedad del estado y su dominio es inalienable e imprescriptible.

En su artículo N° 4, inciso "C", con respecto a ámbitos de la Ley; dentro de las disposiciones de la presente Ley comprenden las aguas del territorio y espacio nacionales; en todos sus estados físicos incluyendo las **Atmosféricas**.

De acuerdo al Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire N° 074-2001-PCM en sus artículos N° 12 y 13, habla acerca del monitoreo regular de la calidad del aire así como el

inventario de sus emisiones, que está a cargo del Ministerio de Salud a través de la Dirección General de Salud Ambiental y que esta puede encargar a instituciones públicas o privadas dichas labores.

En este orden de ideas, con los resultados del presente estudio se pretende determinar la presencia de acidez en las precipitaciones pluviales de las zonas de estudio por medio de un monitoreo del parámetro del pH; estos resultados servirán:

1. En forma teórica, como antecedente bibliográfico de prueba real para la población pasqueña y en general del estado de degradación del medio ambiente de las zonas de estudio por consecuencia de sus lluvias ácidas, para que puedan hacerse comparaciones y/o análisis con los años posteriores como esta acidez ha ido variando durante el tiempo, los daños que puedan causar en un futuro al medio ambiente y a la población. Así mismo este estudio pretende servir como fuente de ideas que permitan implementar normativas ambientales acerca de lluvias acidas, ya que no existe una ley o artículo que puntualice acerca de degradación y contaminación al medio ambiente y a las personas por precipitaciones pluviales ácidas.
2. En forma social, “Raice Awariness” término inglés utilizado en muchos países para “Sensibilizar” a la población porque necesitamos cambiar, modificar y mejorar nuestros actos y costumbres, la forma como la contaminación ambiental está

presente ya muestra consecuencias y el objetivo es dejar un mejor mundo para nuestras futuras generaciones

3. En forma económica, promover la compra de otro tipo de materiales para los techos de las viviendas ya que el tiempo de vida de las calaminas es muy corta, promover el uso de recubrimientos protectores anticorrosivos para disminuir la corrosión acelerada de portones, banquetas, estatuas, los materiales de construcción como acero, pintura, plásticos, cemento, mampostería, acero galvanizado, piedra caliza, piedra arenisca y mármol también están expuestos a sufrir daños. La frecuencia con la que es necesario aplicar nuevos recubrimientos protectores a las estructuras va en aumento, con el consecuente costo-beneficio adicional, utilizar tecnología limpia, etc.

### **1.5 Importancia y Alcances de la investigación**

“Cuando llueve todos se mojan”, este dicho refleja la importancia del presente estudio, las aguas ácidas son en la actualidad un problema ambiental y más aún si la encontramos presentes en las precipitaciones pluviales. Por esta razón, la determinación de la presencia de lluvia ácida como uno de los factores de la degradación del medio ambiente en la ciudad de Cerro de Pasco cobra mayor fuerza ya que el deterioro de viviendas, infraestructura, infertilidad en el suelo, escasa presencia

de vegetación, etc., salta a simple vista. No contamos con una norma, artículo o decreto que puntualice el tema de lluvias ácidas, por lo cual, el presente estudio puede servir como referente para futuras implementaciones en la normativa ambiental.

Este trabajo tiene como alcance a toda la población pasqueña como evidencia del estado de contaminación del cual nos encontramos así como todo toda persona o institución que necesite como referente para realizar análisis y estudios en otras zonas de Cerro de Pasco, Perú o extranjero.

#### **1.6 Limitaciones**

La ausencia de normativa ambiental que mencione el tema de lluvias ácidas, límites máximos permisibles, ausencia de interés en el gobierno local y regional son las principales limitaciones que se hallaron en el desarrollo de este estudio.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

2.1.1 Lars O. Hedin y Gene E. Likens. **“Fragmento de Polvo Atmosférico y Lluvia Ácida: menos polvo, más daños. “El problema de la Lluvia Ácida”** Investigación y Ciencia. Barcelona: Prensa Científica, febrero 1997.

**Resumen:** Las bases (compuestos químicos con un pH mayor que 7) existentes en el polvo atmosférico tienen un efecto beneficioso al contrarrestar la acidez de las deposiciones ácidas. Su reducción por múltiples factores parece incrementar los efectos dañinos sobre el medio ambiente provocados por la lluvia ácida, como se pone de manifiesto en este epígrafe del artículo Polvo atmosférico y lluvia ácida.

Los esfuerzos empeñados en la reducción de las emisiones de contaminantes ácidos cosecharon unos éxitos iniciales alentadores: los niveles de azufre atmosférico, por ejemplo, estos han caído espectacularmente a lo largo de los 30 últimos años en gran parte de Europa y región oriental de Norteamérica. No cabe la menor duda de que un mayor rendimiento de la combustión y una eliminación más eficaz de partículas en las chimeneas han permitido que se frenara la contaminación por partículas vinculada a la combustión de carburantes fósiles. Más difícil

resulta cuantificar la contribución de fuentes de polvo difusas: tráfico, labores agrícolas y erosión eólica. Pese a ello, se cree que la disminución de las partículas de polvo refleja principalmente cambios en la conducta humana, más que variaciones naturales.

### **2.1.2 Esther Álamo y Patricia Rodríguez “Lluvia Ácida” – “La Lluvia Ácida en Uruguay” Abril 1998.**

**Resumen:** El Club de Ciencias Salvador, integrado por alumnos de bachillerato de Uruguay, llevó a cabo un trabajo de investigación sobre los efectos de la lluvia ácida. Dentro de la metodología de trabajo, el grupo se planteó la investigación en el laboratorio de los efectos nocivos de la lluvia ácida en materiales varios (mármol, bronce, textiles y cuero) y en seres vivos mediante la realización de ensayos de laboratorio produciendo lluvia ácida artificialmente, pudiendo analizar los efectos negativos en ratones blancos, lombrices y caracoles de tierra, verificando la peligrosidad esperada a través de la anotación de todos los cambios observados a simple vista y posteriormente por disección. Así mismo, se analizó los resultados negativos de los materiales expuestos a las lluvias ácidas artificiales como mármol, bronce y textiles, pudiendo apreciar una aceleración en el proceso de degradación de dichos materiales. Las plantas sufrieron alteraciones en su actividad fundamental, la función clorofiliana, modificándose su equilibrio vegetal perdiendo “fuerzas” y quedando expuestos al ataque de hongos e insectos.

### **2.1.3 Noticiero Guillermo Ortega Reportaje "Lluvia Ácida en México" 1998.**

**Resumen:** La lluvia ácida que cae en la Ciudad de México produce daños en la salud, afirman investigadores. Julio Flores, doctor en ciencias ambientales, habló de los efectos de la lluvia ácida. Dijo que lo primero que pasa es la irritación de la piel. La lluvia ácida se produce de la siguiente forma: los contaminantes producidos por el diesel y otros combustibles se elevan a la atmósfera. Con la lluvia, hacen reacción y se convierten en ácidos. La lluvia ácida en Europa provocó la muerte de lagos, el deterioro de bosques y la destrucción de monumentos. Julio Flores, investigador de la UAM, dice que "ante una atmósfera oxidada, ácida y con una cantidad de partículas que empieza a ser importante, si podemos esperar nosotros efectos sobre la salud de persona, sobre todo con enfermedades cardiacas".

### **2.1.4 El Mundo (Periódico) "Lluvia ácida sobre Rumanía (Europa)"**

**Resumen:** Lunes, 24 de mayo de 1999: En dicha publicación menciona el registro de lluvias ácidas al sur, suroeste y oeste de Rumanía.

El medio ambiente se vio seriamente afectado en estas regiones, situadas a lo largo de la frontera con Serbia, según las mismas fuentes. En dichas regiones, el pH (índice que mide el grado de acidez de una solución) de la lluvia fue de cinco contra el valor normal de siete, lo que explica el carácter ácido de las precipitaciones, según explica un especialista en química.

Numerosos apicultores señalaron la muerte inexplicable de sus colonias de abejas. Sin embargo, las autoridades rumanas afirmaron que estas lluvias ácidas “No son nocivas para la población”. La contaminación en el río Danubio ha crecido notablemente, provocando la muerte de gran cantidad de peces y la consiguiente preocupación de los pescadores.

**2.1.5** Hospital El Carmen de Huancayo, Médico Cirujano, 2da. Especialidad Ginecología y Obstetricia, Master en Medicina e Investigador del Medio Ambiente. **“Huancayo una Ciudad Contaminada – Lluvia Ácida”**

**Conclusiones:** Se está produciendo en forma acelerada la contaminación del mundo, producto del desarrollo de los pueblos y mínimas acciones para dejar de eliminar al medio ambiente los agentes contaminantes. Esta contaminación está perjudicando e impidiendo el desarrollo de los pueblos subdesarrollados y ocasionando su empobrecimiento. Los trastornos medio ambientales que afronta la humanidad: cambio climático, alteraciones de la capa de ozono, efecto invernadero y lluvia ácida están generando también desequilibrios marcados de la biodiversidad, ecosistemas y alteraciones irreversibles y trastornos sociales, económicos y políticos. La Región de Junín sufre también esta contaminación producida especialmente por los 17 centros mineros en actividad, la refinería de la Oroya y los 67 centros mineros cerrados. La lluvia que cae sobre todo el Valle del Mantaro es ácida en el 48%, en Concepción el 98.3%; en Oroya la lluvia es tremendamente ácida (pH 3.5.a 4.2) y ácida (pH 4.2 a 5.6) en Yaulí, Junín, Tarma, Jauja,

Chupaca, Huancayo, Chanchamayo y Oxapampa. Para tratar de disminuir, preservar y conservar el medio ambiente tiene que diseñar la política medio ambiental de estado, crear el Ministerio del Medio Ambiente; exigir a las compañías mineras utilizar tecnología actualizada limpia, hacer cumplir nuestras normas ambientales y que se ponga en práctica el consenso universal: **“El Que Contamina Paga”** vigente en Europa desde 1972. Las naciones desarrolladas han planificado programas para disminuir la acidez de las lluvias; así por ejemplo la Comunidad Europea se trazó en 1997 reducir la acidez en la comunidad el 50% de lo que tenía en 1990 y los gases de efecto invernadero el 30% hasta el 2020. El medio ambiente no es nuestro es de nuestros hijos; hay que cuidarlo.

## **2.2. Marco de Referencia**

### **2.2.1 Lluvia Ácida<sup>1</sup>**

La lluvia ácida se forma cuando la humedad en el aire se combina con los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre emitidos por fábricas, centrales eléctricas y vehículos que queman carbón o productos derivados del petróleo. En interacción con el vapor de agua, estos gases forman ácido

---

<sup>1</sup> Fuente: revista la reserva / Edición 18 de Julio 2011

sulfúrico y ácidos nítricos. Finalmente, estas sustancias químicas caen a la tierra acompañando a las precipitaciones, constituyendo la lluvia ácida.

Los contaminantes atmosféricos primarios que dan origen a la lluvia ácida pueden recorrer grandes distancias, siendo trasladados por los vientos cientos o miles de kilómetros antes de precipitar en forma de rocío, lluvia, llovizna, granizo, nieve, niebla o neblina. Cuando la precipitación se produce, puede provocar importantes deterioros en el ambiente.

La lluvia normalmente presenta un pH de aproximadamente 5.65 (ligeramente ácido), debido a la presencia del CO<sub>2</sub> atmosférico, que forma ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Se considera lluvia ácida si presenta un pH de menos de 5 y puede alcanzar el pH del vinagre (pH 3). Estos valores de pH se alcanzan por la presencia de ácidos como el ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y el ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>. Estos ácidos se forman a partir del dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>, y el monóxido de nitrógeno que se convierten en ácidos.

Los hidrocarburos y el carbón usados como fuente de energía, en grandes cantidades, pueden también producir óxidos de azufre y nitrógeno y el dióxido de azufre emitidos por fábricas, centrales eléctricas y vehículos que queman carbón o productos derivados del petróleo.

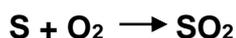
### **2.2.2 Formación de la Lluvia Ácida<sup>2</sup>**

Una gran parte del SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre) emitido a la atmósfera procede de la emisión natural que se produce por las erupciones volcánicas, que son fenómenos irregulares. Sin embargo, una de las fuentes de SO<sub>2</sub> es la

---

<sup>2</sup> Fuente: Twenergy / Environmental Protection Agency

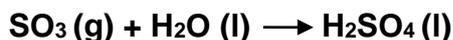
industria metalúrgica. El SO<sub>2</sub> puede proceder también de otras fuentes, por ejemplo como el sulfuro de dimetilo, (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S, y otros derivados, o como sulfuro de hidrógeno, H<sub>2</sub>S. Estos compuestos se oxidan con el oxígeno atmosférico dando SO<sub>2</sub>. Finalmente el SO<sub>2</sub> se oxida a SO<sub>3</sub> (interviniendo en la reacción radicales hidroxilo y oxígeno) y este SO<sub>3</sub> puede quedar disuelto en las gotas de lluvia, es el de las emisiones de SO<sub>2</sub> en procesos de obtención de energía: el carbón, el petróleo y otros combustibles fósiles contienen azufre en unas cantidades variables (generalmente más del 1%), y, debido a la combustión, el azufre se oxida a dióxido de azufre.



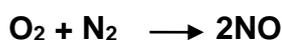
Los procesos industriales en los que se genera SO<sub>2</sub>, por ejemplo, son los de la industria metalúrgica. En la fase gaseosa el dióxido de azufre se oxida por reacción con el radical hidroxilo por una reacción intermolecular.



En presencia del agua atmosférica o sobre superficies húmedas, el trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) se convierte rápidamente en ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).



El NO se forma por reacción entre el oxígeno y el nitrógeno a alta temperatura.



Una de las fuentes más importantes es a partir de las reacciones producidas en los motores térmicos de los automóviles y aviones, donde se

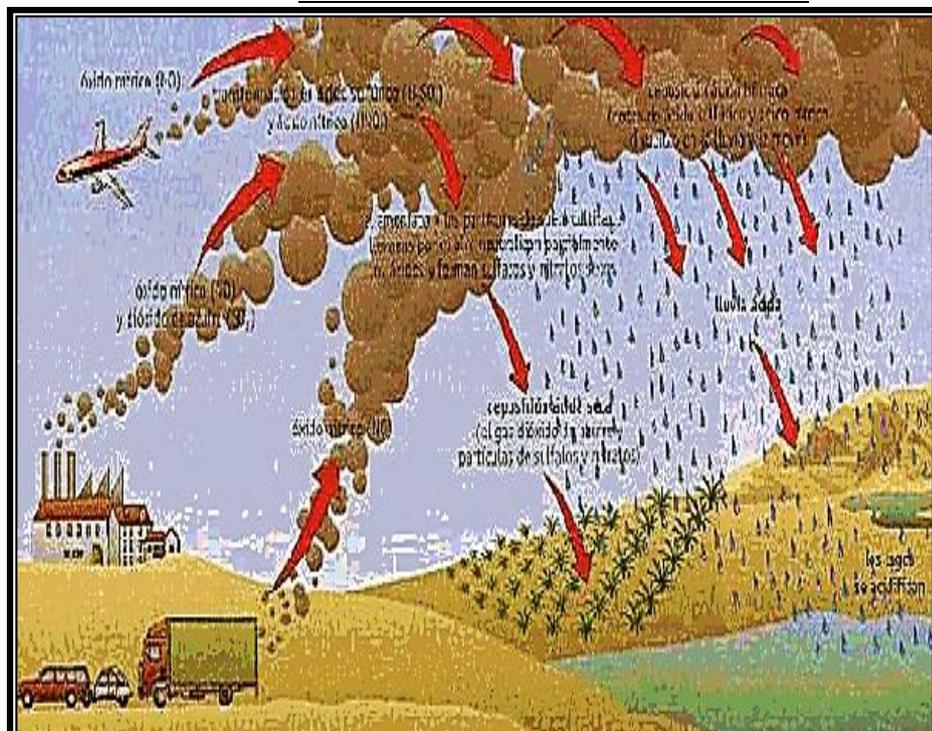
alcanzan temperaturas muy altas. Este NO se oxida con el oxígeno atmosférico,



y reacciona con el agua dando ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), que se disuelve en el agua.



**FIGURA N° 1 FORMACIÓN DE LA LLUVIA ACIDA**



**Fuente: lareserva.com**

### **2.2.3 Efectos de la Lluvia Ácida<sup>3</sup>**

La acidificación de las aguas de lagos, ríos y mares dificulta el desarrollo de vida acuática en estas aguas, lo que aumenta en gran medida la mortalidad de peces. Igualmente, afecta directamente a la vegetación, por lo que produce daños importantes en las zonas forestales, y acaba con los microorganismos fijadores de N.

El término "**lluvia ácida**" abarca la sedimentación tanto húmeda como seca de contaminantes ácidos que pueden producir el deterioro de la superficie de los materiales. Estos contaminantes que escapan a la atmósfera al quemarse carbón y otros componentes fósiles reaccionan con el agua y los oxidantes de la atmósfera y se transforman químicamente en ácido sulfúrico y nítrico. Los compuestos ácidos se precipitan entonces a la tierra en forma de lluvia, nieve o niebla, o pueden unirse a partículas secas y caer en forma de sedimentación seca.

La lluvia ácida por su carácter corrosivo, corroe las construcciones y las infraestructuras. Puede disolver, por ejemplo, el carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ , y afectar de esta forma a los monumentos y edificaciones construidas con mármol o caliza.

---

<sup>3</sup> Fuente: Efectos de lluvia acida / 3º edición / Leonel Froschauer, Francisco Riggi

Un efecto indirecto muy importante es que los protones,  $H^+$ , procedentes de la lluvia ácida arrastran ciertos iones del suelo. Por ejemplo, cationes de hierro, calcio, aluminio, plomo o zinc. Como consecuencia, se produce un empobrecimiento en ciertos nutrientes esenciales y el denominado *estrés en las plantas*, que las hace más vulnerables a las plagas.

Los nitratos y sulfatos, sumados a los cationes lixiviados de los suelos, contribuyen a la eutrofización de ríos y lagos, embalses y regiones costeras, lo que deteriora sus condiciones ambientales naturales y afecta negativamente a su aprovechamiento.

Un estudio realizado en 2005 por Vincent Gauci de Open University, sugiere que cantidades relativamente pequeñas de sulfato presentes en la lluvia ácida tienen una fuerte influencia en la reducción de gas metano producido por metanógenos en áreas pantanosas, lo cual podría tener un impacto, aunque sea leve, en el efecto invernadero.

### **A. En la Salud**

En presencia de neblinas, gases, aerosoles y partículas ácidas, han permitido detectar efectos adversos en poblaciones sensibles a las enfermedades respiratorias agudas, así como en personas de edad avanzada con problemas cardíacos y/o circulatorios.

### **B. En el Medio Ambiente**

Según Albert, L; Los cuerpos de agua superficiales, como ríos, lagos y estanques, son los primeros recursos afectados por las precipitaciones ácidas, el efecto inmediato puede ser amortiguado por su contenido de carbonatos, bicarbonatos y otros compuestos básicos.

En los ecosistemas forestales, se pierde follaje, se reduce el crecimiento y mortalidad. Las plantas acumulan mayores cantidades de metales pesados, siendo ingeridos posteriormente por los herbívoros.

### **C. En los Materiales**

Según Albert, L; El deterioro de los materiales, en particular, los de construcción, originando un costo para la sociedad, significando la pérdida del patrimonio cultural, como monumentos históricos y zonas arqueológicas.

De esta misma forma se puede apreciar la corrosión de los techos de calamina, puertas, ventanas de fierro en las zonas de estudio identificadas en un registro fotográfico del anexo.

#### **2.2.4 Daños Medioambientales<sup>4</sup>**

La lluvia ácida provoca impactos ambientales importantes. Ciertos ecosistemas son más susceptibles que otros a la acidificación. Típicamente, éstos tienen normalmente suelos poco profundos, no calcáreos, formados por partículas gruesas que yacen sobre un manto duro

---

<sup>4</sup> Fuente: Vogel E y Rivas ER. "Contaminación, Contaminantes y Ambiente. Principios de Ciencia Ambiental. Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible": Eds. Enkerlin ED, Cano G, Garza RA y Vogel E. 1997: 372-383.

y poco permeable de granito, gneis o cuarcita. En estos ecosistemas puede producirse una alteración de la capacidad de los suelos para descomponer la materia orgánica, interfiriendo en el reciclaje de nutrientes. En cualquier caso, además de los daños a los suelos, hay que resaltar los producidos directamente a las plantas, ya sea a las partes subterráneas o a las aéreas, que pueden sufrir abrasión (las hojas se amarillean). Además, la producción primaria puede verse afectada por la toxicidad directa o por la lixiviación de nutrientes a través de las hojas. No obstante, existen algunos casos en que se ha aportado nitrógeno o fósforo al medio a través de la precipitación ácida en los que la consecuencia ha sido el aumento de producción ya que ese elemento era limitante.

Hay también evidencias incontrovertibles de daños producidos en los ecosistemas acuáticos de agua dulce, donde las comunidades vegetales y animales han sido afectadas, hasta el punto de que las poblaciones de peces se han reducido e incluso extinguido al caer el pH por debajo de 5, como ha ocurrido en miles de lagos del sur de Suecia y Noruega. Estos efectos se atenúan en aguas duras (alto contenido en carbonatos), que amortiguan de modo natural la acidez de la precipitación. Así, de nuevo, los arroyos, los ríos, las lagunas y los lagos de zonas donde la roca madre es naturalmente de carácter ácido son los más sensibles a la acidificación. Uno de los grandes peligros de la lluvia ácida es que su efecto en un ecosistema particular, además de poder llegar a ser grave, es altamente impredecible.

### **2.2.5 Contaminantes y sus Efectos<sup>5</sup>**

Los agentes causantes de la acidificación son el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y el amoníaco, provenientes de las emisiones de las grandes centrales térmicas que queman combustibles fósiles, los motores de los coches, las calefacciones, las plantas industriales y el amoníaco aportado en grandes cantidades en el estiércol en zonas con elevado número de explotaciones ganaderas intensivas. Los principales responsables son los dos primeros: el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Dichas sustancias pueden reaccionar con el oxígeno atmosférico y disolverse en el agua de lluvia, produciendo al caer la llamada "lluvia ácida".

En zonas con escasez de precipitaciones, se produce la llamada "deposición seca", que se debe a la deposición directa sobre las hojas de los árboles o en el suelo.

También puede ocurrir que las sustancias contaminantes se mezclan con las gotas de niebla, produciéndose la "deposición oculta", cuya acidez puede llegar a ser 10 veces superior a la de la lluvia.

Por otro lado, y especialmente en zonas con un elevado número de horas de insolación, los óxidos de nitrógeno pueden intervenir junto con compuestos orgánicos volátiles (COV) en complejas reacciones fotoquímicas, dando lugar a la formación de ozono troposférico, que es un contaminante secundario fuertemente oxidante.

---

<sup>5</sup> Fuente: Wuyark K and Warner SF. "Reacciones Fotoquímicas Atmosféricas. Contaminación del Aire, Origen y Control. 2002": 509-531.

El proceso de acidificación se ve influido por un gran número de factores, que hacen que los efectos sean variables de unas zonas a otras; entre ellos caben destacar: la sensibilidad de los suelos y de las aguas a la acidez, así como la concentración de partículas contaminantes. Donde el nivel de deposición acidificante excede la capacidad tampón del medio, los problemas de acidificación surgen tarde o temprano. Así surge el concepto de "carga crítica", que se define como aquella exposición por debajo de la cual los efectos dañinos significativos sobre los elementos sensibles del ambiente no ocurren según el conocimiento actual. En 1990 alrededor de 87 millones de hectáreas naturales eran afectadas por niveles de deposición ácida que excedían la habilidad de la naturaleza para compensar la llamada "carga crítica".

Además, hay que tener en cuenta que dichas partículas contaminantes pueden ser transportadas a largas distancias, lo que supone que el problema de la acidificación no reconoce ninguna frontera. De este modo, el Reino Unido ha sido acusado por los países escandinavos de ser el principal causante de la acidificación de sus lagos, debido al transporte de sus emisiones a través de los vientos.

- **Acidificación del Agua**

Hacia los años 50 se descubrió que los peces estaban desapareciendo de los lagos y canales de Escandinavia del sur, y hoy día, unos 14.000 lagos suecos se encuentran afectados por la acidificación, con el daño que ello

conlleva para el crecimiento y vida animal. Estos daños también se han extendido al Reino Unido y Los Alpes.

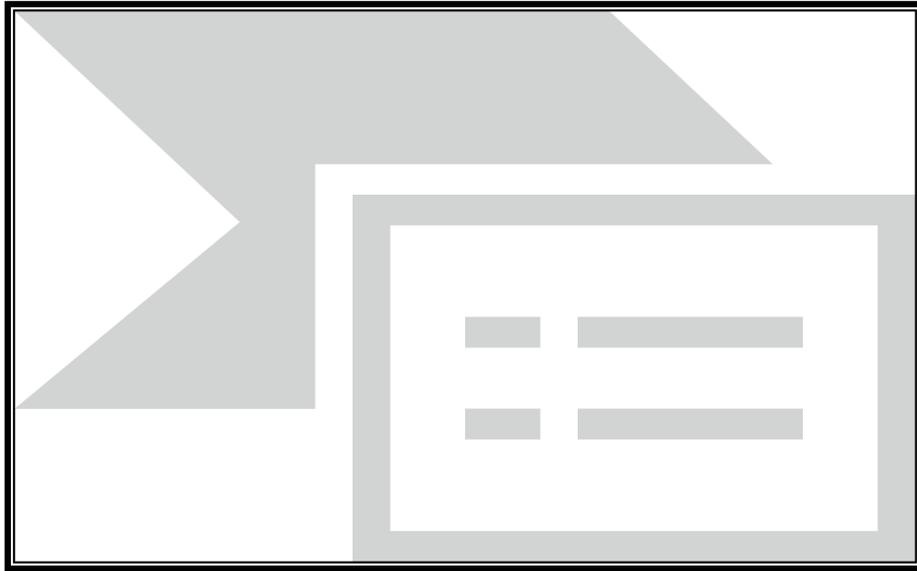
- **Agotamiento del Suelo**

La sensibilidad a la acidificación es mayor en aquellas tierras donde la degradación de los minerales se produce lentamente. Cuando el suelo se acidifica, es esencial que sus nutrientes se lixivien, lo cual reduce la fertilidad de la tierra. Además, el proceso de acidificación también libera metales que pueden dañar a los microorganismos del suelo responsables de la descomposición, así como a los pájaros y mamíferos superiores de la cadena alimentaria, e incluso al hombre.

- **Desaparición de Plantas y Animales**

La sensibilidad de cada especie a los contaminantes y a la acidificación es variable, siendo los grupos más sensibles los peces, los líquenes, los musgos, ciertos hongos, algunos de ellos esenciales para la vida de los árboles, y los organismos acuáticos pequeños.

## **FIGURA N° 2 EFECTOS DE LLUVIA ÁCIDA EN BOSQUES**



Fuente: lluviaacidaaa.blogspot

- **Daños en Bosques y su Desaparición**

Del estudio europeo de 1996 se deduce que cada cuarto de árbol examinado aparecía dañado, de forma que la pérdida de hojas o acículas excedió el 25 por ciento. Las causas de estos daños son muy diversas, pero la mayoría de los investigadores están de acuerdo en que los principales factores causantes son la acidificación del suelo y las altas concentraciones de ozono troposférico.

En Suiza, la disminución de la superficie arbolada que retiene las avalanchas y corrimientos de tierra, pone en peligro miles de hogares y en Alemania a finales de los 80 más de la mitad de los bosques estaban dañados o muriendo.

En el sur de Europa aún queda mucho por estudiar sobre la contaminación atmosférica como causa de degradación y muerte de los bosques. Los elementos contaminantes se introducen en el vegetal, alterando en distinta

medida su metabolismo, siendo la fotosíntesis y la respiración los dos procesos afectados. Como resultado se produce un debilitamiento gradual de la planta, que cada vez se hace más sensible a las plagas y enfermedades, y a la deficiencia hídrica. Esto hace que sea muy difícil demostrar que la causa real de la muerte de los bosques es la contaminación, ya que en última instancia son otros los agentes que acaban instalándose sobre el árbol debilitado, provocando en muchas ocasiones su muerte. No obstante, en casos de concentración muy alta de contaminantes sí aparecen síntomas claros de defoliación y decoloración directamente achacables a la contaminación. La coincidencia de zonas dañadas con las zonas de mayor concentración de azufre en las hojas es un dato clarificador, y una evidencia del transporte de contaminantes la tenemos por ejemplo en la concentración de azufre que se encontró, a través de un estudio realizado por el ICONA a lo largo de 1987, en los árboles del pre parque en Doñana, probablemente procedente del foco del polo industrial de Huelva. Las mayores conexiones entre altas concentraciones de azufre y daños en la vegetación se encontraron en regiones como Murcia, País Vasco, Galicia y algunas zonas de Cataluña.

#### • **Efectos Negativos sobre la Salud**

Nosotros mismos nos vemos afectados por la polución aérea, tanto directamente, como resultado de respirar los contaminantes perjudiciales, como indirectamente, debido a que la acidificación del suelo conduce a que los metales tóxicos se introduzcan en la cadena alimentaria.

#### • **Corrosión y Destrucción de la Herencia Cultural**

Las edificaciones y los monumentos históricos de más de una docena de países, y entre ellos España, están experimentando una corrosión acelerada. Así por ejemplo, el Partenón ha sufrido más en los últimos 30 años el efecto de la erosión de lo que lo hizo durante los 2.400 anteriores y en nuestro país el tesoro pictórico del museo del Prado, ha estado sufriendo la deterioración a causa de la contaminación.

Todo ello se debe a las emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, que se convierten en ácidos fuertes que atacan tanto a edificios antiguos como nuevos, siendo los más afectados los objetos y estructuras de materiales fácilmente degradables, como la caliza y la piedra arenisca. En Perú de la misma forma se puede apreciar este proceso de corrosión acelerado.

#### • **Otros Efectos de los Contaminantes Distintos de la Acidificación**

Los contaminantes que causan la acidificación también toman parte en algunos problemas medioambientales:

**Eutrofización.** La deposición de nitrógeno procedente de las emisiones de óxidos de nitrógeno y amoníaco, conduce a un excesivo nivel de nutrientes en ambientes que normalmente son pobres, causando un declive de la biodiversidad. Así mismo, el exceso de nitrógeno también es un problema en los mares y océanos, donde el desarrollo anormal de la masa de algas provoca el empobrecimiento en oxígeno.

**El ozono troposférico**, tal como se explicó anteriormente, se forma en la atmósfera por los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles

en presencia de la luz del sol. Es un gas venenoso que daña cosechas agrícolas, árboles y personas. Se trata de un importante contaminante transfronterizo que en ocasiones puede afectar a diversos países vecinos. En el norte de Europa se ha estudiado con cierto detalle la fenomenología de este gas, mientras que en el sur de Europa, aún se desconocen muchos de los procesos y condiciones implicados en la formación de altas concentraciones de ozono. Esta región presenta ciertas peculiaridades que influyen en la aparición de episodios fotoquímicos tales como: altas temperaturas, elevada insolación, orografía compleja, altas emisiones biogénicas, ciclos diarios de vientos locales, etc. No obstante, en toda Europa se han detectado elevados niveles de ozono que frecuentemente superan los umbrales de protección a la salud y a la vegetación establecidos en la Directiva 92/72 CEE. Esto ha llevado a la necesidad de reunir toda la información relevante por parte de los Estados miembros, con objeto de elaborar la futura directiva hija sobre el ozono. Con dicho fin, del 4 al 7 de marzo de 1997 se celebró en Valencia el I Seminario Técnico sobre la Contaminación por Ozono Troposférico en el sur de Europa.

**El cambio Climático.** Casi la totalidad del azufre y una gran proporción de los óxidos de nitrógeno que se emiten a la atmósfera proceden de la combustión del carbón y otros combustibles fósiles, siendo estos también la fuente de emisión del dióxido de carbono que contribuye al cambio climático.

#### **2.2.6 ¿Qué Agentes la Producen?**

España es uno de los mayores emisores de contaminantes entre los países industrializados. La producción de energía es con diferencia, la fuente de mayores emisiones de contaminantes a la atmósfera, seguida del transporte y otras actividades industriales. La industria energética produce grandes cantidades de óxidos, partículas en suspensión y compuestos orgánicos volátiles. La contribución del transporte y refinerías a estas emisiones sufre un incremento continuo sin retroceso y con períodos de ascensos bruscos a causa del crecimiento del transporte por carretera. Sin embargo, el sector industrial ha ido reduciendo sus emisiones a causa de la disminución de la actividad y la sustitución de combustibles. Son las centrales térmicas las que producen enormes cantidades de contaminantes atmosféricos. También se producen en la incineración de basuras, en diversos procesos industriales como la obtención de papel y de cartón y por oxidación del  $\text{SH}_2$  en los procesos bacterianos de descomposición de la materia orgánica. El dióxido de nitrógeno se origina en los procesos de combustión a elevadas temperaturas, en la fabricación de explosivos, en erupciones volcánicas, en tormentas de gran aporte eléctrico.

### **2.2.7 Medidas para Reducir las Emisiones**

Para evitar los daños por acidificación, eutrofización y ozono troposférico, la demanda mínima supondría una reducción de las emisiones de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno en al menos un 90 %, y un 75 % en aquellas de compuestos orgánicos volátiles y amoníaco, con respecto a los niveles detectados a principios de los años 80. No obstante, las necesidades son

variables entre los distintos países y regiones, dependiendo de la intensidad de tales emisiones.

En el período de 1980 a 1995, las emisiones de azufre en Austria, Finlandia y Suecia cayeron por encima del 80 %, las de óxidos de nitrógeno en un 10 % y las de amoníaco en un 15 % aproximadamente. Estos datos muestran que se está llevando a cabo una importante labor, pero aún queda un largo recorrido para alcanzar el objetivo de no sobrepasar las cargas críticas.

El consejo de administración de ambiente de la Comisión europea, en sus preparaciones para las estrategias de la UE para combatir la acidificación y la contaminación por ozono troposférico, estimó que las medidas ya acordadas o propuestas, llevadas totalmente a cabo, reducirían las emisiones europeas totales de los cuatro contaminantes que acidifican y forman ozono - dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y amoníaco -, en un 62, 38, 37 y 16 %, respectivamente, hacia el año 2010, en comparación con los niveles de 1990. Esto supondría una reducción de la superficie de áreas naturales en las que se superan las cargas críticas de acidificación en un 80%, de 93 millones de hectáreas en 1990 a 17 millones de hectáreas hacia el 2010. A su vez, descendería en aproximadamente dos tercios la exposición de seres humanos a las concentraciones excesivas de ozono.

Es posible reducir las emisiones de contaminantes aéreos a los niveles de las cargas críticas, sin realizar grandes sacrificios financieros o materiales. Esto puede llevarse a cabo de muy diversas formas, aunque básicamente se identifican dos tipos de medidas: técnicas, que implican la aplicación de

medios tecnológicos, y estructurales, que suponen un uso más eficiente de la energía. Sin embargo, es difícil establecer una separación entre ambas estrategias, y en la mayoría de los casos resulta más rentable la combinación de ambas, tanto desde el punto de vista medioambiental como desde el económico; la reducción de las emisiones de contaminantes acidificantes simplemente aplicando las técnicas disponibles, no es el mejor medio ni el más barato. Resulta más sostenible a largo plazo la sustitución de la energía fósil por fuentes de energía renovables, así como la modificación de los medios de transporte, procurando también el descenso de los niveles del gas predominantemente responsable del efecto invernadero: el dióxido de carbono. No obstante, según un estudio desarrollado en relación con la estrategia de acidificación de la Comisión de la UE, la adopción de un grupo de medidas basadas en las mejores técnicas disponibles aún resultaría rentable, ya que a pesar de suponer un coste anual de 73 mil millones de ecus hacia el año 2010, los ingresos en forma de salud mejorada y corrosión reducida de los edificios alcanzarían hacia el mismo año al menos un valor de 91 mil millones de ecus. Esto además conllevaría beneficios adicionales, tales como la reducción drástica de la eutrofización en Europa, así como del problema de la acidificación de los ecosistemas.

## **1. Tecnología para el Control de las Emisiones**

Tanto las plantas de combustión como los vehículos, pueden equiparse con tecnología de control de emisiones que puede eliminar en un 90%, e incluso más, las emisiones de carácter acidificante. Pero además a largo plazo será necesario sustituir el carbón y otros combustibles fósiles.

- En el caso del  $\text{SO}_2$ , se puede actuar en tres puntos distintos del ciclo para reducir las emisiones: eliminando el azufre del combustible, eliminándolo durante la quema o desulfurando los gases emitidos.

- La eliminación de azufre o desulfuración del combustible supone la eliminación del máximo contenido de azufre combustible del carbón antes de su combustión. Este azufre puede encontrarse en forma orgánica o inorgánica, y solamente este último se elimina mediante el lavado del carbón. El carbón se tritura, separándolo posteriormente del azufre por distintos métodos. La instalación de una planta de lavado en las centrales que queman lignitos, es una medida necesaria para reducir las emisiones de  $\text{SO}_2$ , pero nunca suficiente.

- La desulfuración durante la combustión se lleva a cabo mediante "lechos fluidizados" en los que se introducen adsorbentes (caliza o dolomía), consiguiendo la eliminación de una parte del  $\text{SO}_2$ , que queda en una capa de  $\text{CaSO}_4$ . Los inconvenientes que presenta este sistema se deben a que no puede aplicarse a plantas ya instaladas, sino en las nuevas, y no de gran potencia, y que la desulfuración no es tan efectiva como cuando se realiza sobre los gases emitidos.

- En el caso de la de  $\text{SO}_2$  a partir de los gases emitidos, se aplican los procesos de desulfuración de gases (FGD), que son los más eficaces en la

reducción de estas emisiones. Así se consiguen disminuciones del 85-95 %, con la ventaja además de poder aplicarse a grandes térmicas que ya están en funcionamiento. Las técnicas FGD son las más extendidas en Europa Central y las más apropiadas para aplicar en las grandes centrales de nuestro país.

Independientemente de la puesta a punto de las dos estrategias mencionadas, también a nivel personal se puede colaborar, intentando reducir el consumo de energías fósiles e incrementando el de aquellas que se consideran renovables.

### **2.2.8 ¿Cómo se Rastrean las Fuentes de Lluvia Ácida?**

Cuando el 10 de abril de 1974 se abatió una tormenta sobre Escocia, la lluvia igualó un récord mundial por su acidez. Era más o menos equivalente al jugo de limón y más ácida que el vinagre. Superó cientos de veces la acidez normal de las precipitaciones pluviales.

En muchas partes del mundo, las lluvias son 10 y aun 100 veces más ácidas de lo que deberían ser, dañan los edificios y la tierra, matan peces de los lagos y destruyen los árboles.

La lluvia ácida es un problema ecológico que no respeta fronteras. La contaminación atmosférica que la causa es arrastrada por los vientos dominantes, desde las zonas industriales hasta montañas, lagos y bosques. Ni siquiera el Ártico está libre de tal contaminación.

La lluvia se vuelve ácida principalmente por la presencia de dos elementos químicos: azufre y nitrógeno. El azufre se encuentra en la hulla y el petróleo.

Al quemarse forma bióxido de azufre, que se mezcla con las gotas de agua en las nubes y se convierte en ácido sulfúrico. Como resultado de la combustión, el nitrógeno forma óxidos que se transforman en ácido nítrico al reaccionar con las moléculas de agua. Una parte de ambos ácidos cae donde se originan, mientras que el resto puede recorrer cientos de kilómetros.

La creciente contaminación, provocada en gran parte por las plantas generadoras de energía en épocas recientes, ha propiciado que lugares como Escandinavia, por ejemplo, se vean afectados por la contaminación de fábricas situadas a miles de kilómetros de distancia.

Para determinar si una parte de la lluvia ácida de Escandinavia provenía de Gran Bretaña, se recolectaron muestras de aire desde un avión, que luego fueron sometidas a pruebas por científicos británicos. En uno de los vuelos se encontró que el aire que llegaba a la costa occidental británica, a través del Atlántico, contenía menos de la mitad de azufre y una cuarta parte menos de nitrato que el aire de la costa oriental. Al pasar sobre Gran Bretaña, los vientos dominantes habían recogido los contaminantes que arrastraron hasta Escandinavia.

Incluso fue posible rastrear las "huellas" de la contaminación originada en una planta industrial específica, que liberaba un compuesto químico: hexafluoruro de azufre. Con instrumentos que fueron transportados en un avión se pudo precisar el momento en que la nave atravesó la zona donde se emitía tal sustancia, y se hicieron mediciones de su concentración en la atmósfera.

La acidez se mide utilizando la escala de pH. Esa escala de pH va de cero (el valor más ácido) al catorce (el valor más básico o alcalino). Una sustancia que no es ni básica ni ácida se llama “neutra”, y tiene un pH de 7.

El agua pura tiene un pH de 7.0. Sin embargo, la lluvia normal es levemente ácida debido a que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se disuelve formando un ácido carbónico débil, dando a la mezcla formada un pH de aproximadamente 5.6 en las concentraciones típicas atmosféricas de  $\text{CO}_2$ . Hasta el año 2000, la lluvia más ácida que caía en Estados Unidos tenía un pH de aproximadamente 4.3.

### **2.2.9 Método de Medición**

Las estaciones de monitoreo cuentan con colectores automáticos para depósito atmosférico que captan por separado muestras de depósito húmedo (lluvia, granizo, niebla, llovizna) y depósito seco (polvos, partículas), las cuales se analizan en el Laboratorio de Análisis Ambiental. Cada estación cuenta con un pluviógrafo que mide con exactitud el volumen de precipitación pluvial, lo que ayuda a determinar la concentración de parámetros específicos.

En el depósito húmedo se obtienen registros de los siguientes parámetros: pH, conductividad, aniones (nitratos, sulfatos y cloruros) y cationes (amonio, calcio, magnesio, sodio y potasio). Con estas mediciones es posible determinar la acidez y el balance iónico del agua de lluvia.

### **TABLA N° 1: PARÁMETROS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS**

**(DEPÓSITO HÚMEDO)**

PARÁMETRO		TÉCNICA DE ANÁLISIS
Volumen		Volumétrica
pH		Potenciómetro digital
Conductancia Específica		Conductímetro Digital
Acidez		Titulación
Alcalinidad		Titulación
Aniones	Sulfato ( $\text{CO}_4^{-2}$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Cloruro ( $\text{CL}^-$ )	Cromatografía de líquidos HPLC
Cationes	Sodio ( $\text{Na}^+$ ), Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ )	
Metales Pesados	Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Plomo (Pb), Zinc (Zn).	Espectrofotometría de Emisión Atómica.
El método de análisis para la acidez y la alcalinidad es NMX-AA-036-1980. El método de análisis para la determinación de aniones está basado en el método EPA 9056 A "Análisis de iones inorgánicos en muestras de agua" con modificaciones para la fase estacionaria y la fase móvil.		

- En el depósito seco se obtiene información de los metales: aluminio, zinc, manganeso, arsénico, cobre, cadmio, mercurio, fierro, plomo y estroncio, que en pequeñas concentraciones causan efectos perjudiciales en la salud humana, además del deterioro de los bosques y daños a organismos acuáticos y terrestres, incluso participan como catalizadores en la oxidación del  $\text{SO}^2$ , precursor del fenómeno de lluvia ácida.

**TABLA N° 2: PARÁMETROS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS**

**(DEPÓSITO SECO)**

PARÁMETROS	TECNICA DE ANÁLISIS
Elementos: <b>Bario (Ba), Potasio (K), Calcio (Ca), Fierro (Fe), Manganeseo (Mn), Plomo (Pb), Selenio (Se), Titanio (Ti), Zinc (Zn).</b>	Barrido por Fluorescencia de Rayos X*
* Se han detectado otros elementos pero con menor frecuencia.	

### 2.3 Definición de Términos<sup>6</sup>

- a. **Acidificación del Agua.**- Hacia los años 50 se descubrió que los peces estaban desapareciendo de los lagos y canales de Escandinavia del sur, y hoy día, unos 14.000 lagos suecos se encuentran afectados por la acidificación, con el daño que ello conlleva para el crecimiento y vida animal. Estos daños también se han extendido al Reino Unido y Los Alpes.
- b. **Carga Crítica de Acidez (CCA).**- Se define la carga crítica de acidez de un ecosistema como "nivel máximo de compuestos acidificantes aportados, que no causan cambios químicos que perjudiquen a largo plazo la estructura y funcionamiento del mismo".
- c. **Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**- producto gaseoso de la combustión de compuestos que contiene azufre, de olor sofocante fuerte. Se oxida en la atmósfera húmeda y se transforma en ácido sulfúrico; se menciona al hablar de la lluvia ácida; además de ser una de sus causas, es un gas irritante que ocasiona efectos nocivos sobre la

<sup>6</sup> Fuente: [www.ambientum.com/diccionario/listado/diccionario](http://www.ambientum.com/diccionario/listado/diccionario)  
[www.ecoestrategia.com/articulos/glosario/glosario](http://www.ecoestrategia.com/articulos/glosario/glosario)

salud humana, materiales y plantas. Su efecto se acentúa en presencia de ciertas partículas.

- d. **El ozono troposférico.** - tal como se explicó anteriormente, se forma en la atmósfera por los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles en presencia de la luz del sol. Es un gas venenoso que daña cosechas agrícolas, árboles y personas.
- e. **Lluvia.** - Precipitación de gotas de agua líquida de diámetro mayor de 0.5 mm, o bien más pequeñas, pero muy dispersas.
- f. **Lluvia Ácida.**- Se ha asignado este nombre a aquello que presenta valores de pH menores de 5.6, ya que esto indica la presencia de ácidos fuertes como el sulfúrico y el nítrico. Las causas a las que se atribuye este fenómeno, son las emisiones atmosféricas principalmente de los óxidos de azufre y de nitrógeno, por el uso de combustibles fósiles, operación de la industria, transporte, uso de fertilizantes, combustión de desechos industriales, urbanos y agrícolas. La lluvia ácida produce daños en los materiales expuestos, así como alteraciones en el desarrollo de la vegetación y alteraciones químicas y biológicas de los ecosistemas acuáticos.
- g. **Llovizna.**- Precipitación uniforme constituida por minúsculas gotas de agua muy próximas unas de otras. La llovizna cae de una capa densa de estratos.
- h. **Monóxido de Carbono (CO).**- Producido por combustión incompleta de materiales carbonados, especialmente por los automóviles, También durante los incendios forestales. Altamente

tóxico para el ser humano y animales en general. También durante los incendios forestales. Gas producido por la combustión incompleta de carbón o de sustancias orgánicas.

- i. **Ozono.-** Se refiere al generado en las capas bajas de la atmósfera y que forma parte de las neblinas de contaminación ya citadas. Es irritante y tóxico para el ser humano, también afecta de manera importante a materiales poliméricos al ser un fuerte oxidante.
- j. **Partículas.-** Son especies sólidas o líquidas en suspensión en el aire; su origen es muy diverso, originan efectos dañinos según tamaño y naturaleza, tanto sobre las personas y seres vivos, como sobre los materiales (por ejemplo, el plomo procedente de las gasolinas).
- k. **pH.-** Medida de la acidez o basicidad de una solución. Se indica con una escala cuyos valores usuales van de 0 a 14. El valor 7 corresponde al agua pura y las soluciones neutras.

## **2.4 Sistema de Hipótesis**

Para la presente investigación se formula la siguiente hipótesis:

### **2.4.1 Hipótesis General:**

1. Las aguas de lluvia ácida en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha ocasionan problemas y daños al medio ambiente.

#### **2.4.2 Hipótesis Específicas:**

1. La quema de residuos y las emisiones del parque automotor causan las lluvias acidas en la zona de estudio.
2. El pH de las lluvias de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha presentan alto grado de acidez.
3. Los recursos naturales de la ciudad de Cerro de Pasco son degradados por las lluvias ácidas.
4. Las lluvias acidas causan el deterioro ambiental y daños a los seres vivos (personas, plantas y animales).

### **2.5 Definición de Variables**

#### **2.5.1 Variable Dependiente (VD)**

Degradación del medio ambiente.

#### **2.5.2 Variable Independiente (VI)**

Presencia de Lluvia Ácida en la ciudad de Cerro de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MÉTODO

##### 3.1.1. Tipo de Investigación

El estudio es una investigación Básica – Descriptiva (cuasi-experimental), con enfoque mixto (Cuantitativo – Cualitativo) y sin intervención.

##### 3.1.2 Diseño de Investigación

El estudio tiene un diseño longitudinal de tipo prospectivo, donde se recolectan datos al momento y se analizan para un futuro en la población sujeto a estudio, relacionando las variables de estudio.

$$f(X) \longrightarrow Y$$

**Dónde:**

**X: VI** = Presencia de Lluvia Ácida en la ciudad de Cerro de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha).

**Y: VD** = Degradación del medio ambiente

**f** = Función

—————> = Grado de verificación de X en Y

### **3.1.3 Población y Muestra**

#### **3.1.3.1 Población**

El presente estudio tomó como población sujeto a estudio a las aguas de las lluvias en la zona de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha.

#### **3.1.3.2 Muestra**

El tipo de muestra establecida en la presente investigación es la muestra No probabilística, que ésta a su vez se subdivide en muestras cualitativas. Para lo cual se ha establecido diferentes puntos de monitoreo y periodo de estudio. Los puntos de monitoreo se establecen en la TABLA N° 3.

### **3.1.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

**a. Técnicas:** Para la recolección de datos se utilizó las siguientes técnicas de investigación:

- **Observación:** Observación del campo (actividad humana y ambiente) para explorar, describir, identificar las zonas de estudio, con esta técnica se pudo identificar y determinar los puntos de monitoreo y el periodo de estudio.
- **Resultados del Monitoreo de pH en las aguas de lluvia:** Esta técnica consistió en realizar el monitoreo de pH en las aguas de lluvia en la ciudad de Cerro de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha) y luego recopilar los resultados para contrastarlo con las normativas ambientales para el caso.

**b. Instrumentos:**

- Guía de Observación
- Fichas de resultados de monitoreo de pH en las aguas de lluvia de la ciudad de Cerro de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha).
- Información bibliográfica sobre el tema.

### **3.1.5 Metodología de Ejecución del Proyecto:**

I: Consistió en la observación del campo de estudio para explorar, describir, identificar las zonas de estudio y el periodo de trabajo.

II: En esta fase se pasó a la identificación y selección de los puntos de monitoreo de lluvias en la ciudad de Cerro de Pasco, para realizar el monitoreo del parámetro de pH en las lluvias y así determinar el grado de acidez. (Ver siguiente Tabla).

**TABLA N° 3 PUNTOS DE MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE PASCO 2011 – 2012 (PLL)**

ESTACIÓN PUNTOS DE MUESTREO	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS UTM*		ALTITUD (MSNM)	PARÁMETRO A EVALUAR
		ESTE	NORTE		
PLL - 01	Parque el Minero - Chaupimarca	E 0362572	N 8818388	4338	<b>pH</b>
PLL - 02	Plaza Daniel A. Carrión (Chaupimarca)	E 0362598	N 8818726	4383	
PLL - 03	Municipalidad Distrital de Yanacancha	E 0362870	N 8820932	4384	
PLL - 04	Campamentos 1° de Mayo (Av. El minero).	E 362600	N 8820281	4358	
PLL - 05	CS. Uliachín (Chaupimarca)	E 362403	N 8818294	4356	
PLL – 06	P.S. Paragsha (Simón Bolívar)	E 0361620	N 8819322	4349	
PLL - 07	5 Esquinas (Chaupimarca)	E 362649	N 8817907	4356	
PLL - 08	Parque Arenales (Yanacancha)	E 0362741	N 8820835	4382	

Fuente: UNDAC Pasco 2011 – 2012/Bach. Alejandro Jeanpiere Franco Ramos

**III:** En esta fase se pasó a determinar el periodo de estudio, que consistió en monitorear el parámetro de pH de las lluvias de las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha, en los meses de estiaje (lluvias); que son los meses de Octubre 2011 a Marzo del 2012 (en un lapso de 6 meses).

**IV:** En esta fase de estudio se realizaron los monitoreos de pH en las aguas de lluvia de la ciudad de Cerro de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha), en sus 8 puntos de monitoreo desde Octubre 2011 a Marzo del 2012 (6 Meses), el monitoreo se realizó 2 veces por mes y se efectuó con el apoyo del laboratorio de la facultad de ingeniería de la UNDAC - Pasco.

**V:** Una vez realizado los monitoreos se pasó a compararlo con las normativas ambientales vigentes, estudios anteriores y luego determinar el grado de acidez.

### **3.1.6 Análisis de Datos**

Se procedió a la siguiente secuencia para el análisis de datos:

- Identificación de la situación real de la zona de estudio.
- Revisión de material recolectado.
- Establecimiento de plan de trabajo inicial.
- Codificación textual de datos.
- Análisis e Interpretación de datos.
- Descripción del contexto, situaciones para explicar sucesos.
- Establecimiento de resultados, conclusiones y recomendaciones.

### **3.1.7 Área de Estudio**

El área de estudio comprende los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simon Bolivar (Paragsha) que forman parte de la ciudad de Cerro de Pasco.

#### **A. Ubicación Geográfica del distrito de Chaupimarca**

Es uno de los distritos de Cerro de Pasco que se encuentra a una altitud de 4 338 m.s.n.m. con una superficie de 6.7 km<sup>2</sup> creado por ley 10030 del 27 de noviembre de 1944, por el entonces presidente de la República Don Manuel Prado Ugarteche. El distrito de Chaupimarca está ubicado en la parte central de la Región de Pasco. Su clima es predominante frígido, con las temperaturas promedio de 8°C durante el año.

#### **B. Ubicación Geográfica del Distrito de Yanacancha**

El distrito de Yanacancha se encuentra situado al norte del distrito de Chaupimarca, en la zona central de la Provincia de Pasco que forma parte de la Sub-región Alto Andina. Se halla a una altitud que varía entre los 3,250 m.s.n.m. y 4,380 m.s.n.m. Se encuentra en el piso ecológico de Suni y Puna o Jalca, según la clasificación de Javier Pulgar Vidal. Su clima es predominante frígido, con las temperaturas promedio de 8°C durante el año.

#### **C. Ubicación Geográfica del Distrito de Simón Bolívar (Paragsha)**

Se encuentra ubicada en la Región natural Sierra Central de nuestro País. El Localidad de Paragsha Pertenece al Distrito de Simón Bolívar se

encuentra a 7.7 Km de la capital del distrito a una altitud aproximado de 2,408 m.s.n.m. Su clima es predominante frígido, con las temperaturas promedio de 8°C durante el año.

**TABLA N° 4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha)**

UBICACIÓN	Coordenadas: 10°41'1"S E-10.6836, 0
• Latitud	10° 45'
• Longitud	76° 15'
• Altitud	4338 msnm
• Distancia	315 km de Lima

- **Acceso**

El camino es uno de los más pintorescos de los Andes. Para llegar a ella hay que pasar por Ticlio (Abra de Anticona: 4.818 msnm); este punto es el más alto de la carretera y además es el segundo punto ferroviario más alto del mundo.

- **Clima**

El Clima es Frío de Montaña, marcada por las estaciones. En verano es lluvioso con temperaturas entre los 10 °C y 4 °C. En invierno es seco y entre 5 °C y - 4 °C.

## **3.2. MATERIALES Y EQUIPOS**

### **a. Recursos Materiales**

- Lapiceros, lápiz y borrador.
- Tablero de apuntes.
- Libreta de campo.
- Apuntes sobre el tema y la zona de estudio.
- Otros.

### **b. Equipos**

- Equipo de Seguridad.
- GPS.
- Equipo muestreador de pH en Agua (Peachímetro pH).
- Recipientes de Vidrio para muestras de las llluvias.
- Computadora Corel Duo.
- Impresora.
- Cámara digital.
- Cámara de Video.
- USB's.
- Otros.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. FASE DE ESTUDIO**

El término "**lluvia ácida**" abarca la sedimentación tanto húmeda como seca de contaminantes ácidos que pueden producir el deterioro de la superficie de los materiales. Estos contaminantes que escapan a la atmósfera al quemarse carbón y otros componentes fósiles reaccionan con el agua y los oxidantes de la atmósfera y se transforman químicamente en ácido sulfúrico y nítrico. Los compuestos ácidos se precipitan entonces a la tierra en forma de lluvia, nieve o niebla, o pueden unirse a partículas secas y caer en forma de sedimentación seca. La lluvia ácida por su carácter corrosivo, corroe las construcciones y las infraestructuras. Puede disolver, por ejemplo, el carbonato de calcio, y afectar de esta forma a los monumentos y edificaciones construidas con mármol o caliza.

Es imprescindible reconocer que la lluvia ácida es un problema grave y que la mejor solución es la reducción de las emisiones.

También se pueden y se deben efectuar otras medidas, como usar combustibles con poco azufre o reducir su concentración antes de usarlos. Hay otras medidas que también son importantes, como la limpieza de los gases antes de liberarlos a nuestra atmósfera o usar piedra caliza molida durante la combustión. Las medidas más efectivas son reducir el consumo de electricidad y utilizar fuentes renovables: energía solar, eólica.

Es así que en la ciudad de Cerro de Pasco por presentar actividades mineras y presentar problemas de conciencia ambiental por parte de la población, estos incrementan con sus malos hábitos a la contaminación de nuestra ciudad, quemando sus residuos, utilizando combustibles que perjudican el ambiente y muchos factores que están degradando nuestro medio natural, y que no están haciendo casi nada por remediarlos.

En el presente estudio se pretende demostrar que existe acidez en las lluvias de nuestra ciudad, lo cual apostará en la prevención y alerta a la población.

#### **4.1.1 Resultados del Monitoreo de pH de las Lluvias de la Ciudad de Cerro de Pasco, para identificar y determinar la presencia de Lluvias Ácidas.**

**CUADRO N° 1**

**RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – OCTUBRE 2011**

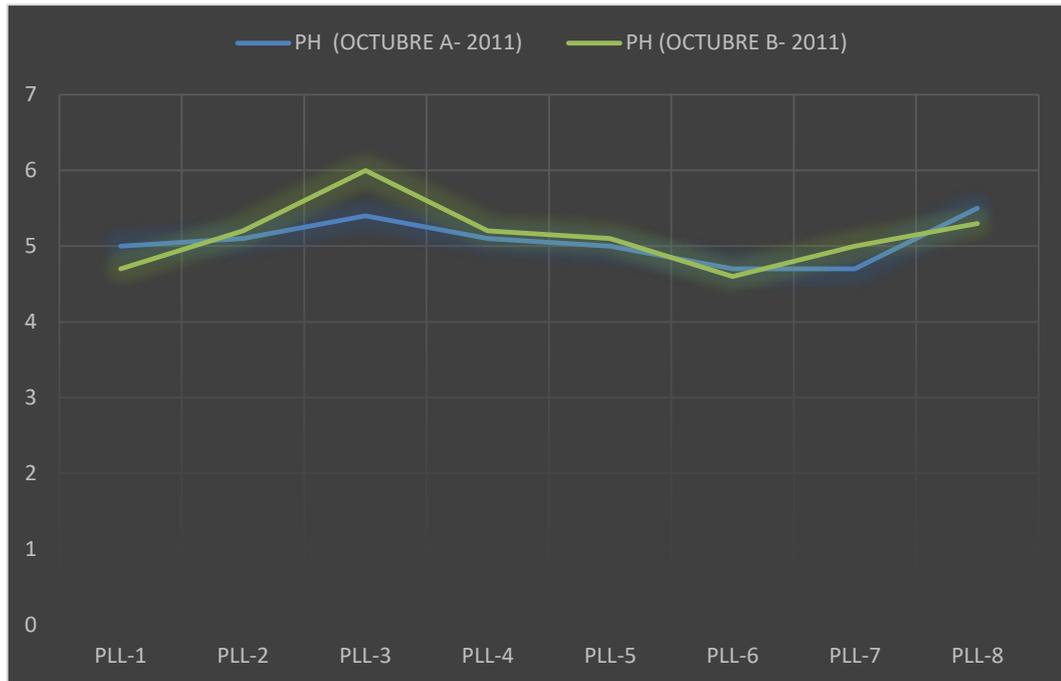
PARÁMETRO A EVALUAR	PUNTOS DE MONITOREO							
	PLL-1	PLL-2	PLL-3	PLL-4	PLL-5	PLL-6	PLL-7	PLL-8
	PRIMER MUESTREO OCTUBRE (A) – 2011							
	Parque el Minero - Chaupimarca	Plaza Daniel A. Carrión (Chaupimarca)	Municipalidad Distrital de Yanacancha	Campamentos 1° de Mayo (Av. El minero)	CS. Uliachín (Chaupimarca)	P.S. Paragsha (Simón Bolívar)	5 Esquinas (Chaupimarca)	Parque Arenales (San Juan)
PH	5.0	5.1	5.4	5.1	5.0	4.7	4.7	5.5
	SEGUNDO MUESTREO OCTUBRE (B) – 2011							
PH	4.7	5.2	6.0	5.2	5.1	4.6	5.0	5.3
<p><b>Nota:</b> La lluvia normalmente presenta un pH de aproximadamente <b>5.65 (ligeramente ácido)</b>, debido a la presencia del CO<sub>2</sub> atmosférico, que forma ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Se considera <b>lluvia ácida</b> si presenta un <b>pH de menos de 5</b> y puede alcanzar el pH del vinagre (pH 3). Estos valores de pH se alcanzan por la presencia de ácidos como el ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y el ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>. Estos ácidos se forman a partir del dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>, y el monóxido de nitrógeno que se convierten en ácidos.</p>								

Fuente: Elaboración propia según los resultados del monitoreo de pH de las lluvias de la Ciudad de Cerro de Pasco Octubre 2011  
(2 monitoreos x mes) /Bachiller Alejandro Jeanpiere Franco Ramos

## GRÁFICO N° 1

### RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD

#### DE CERRO DE PASCO – OCTUBRE 2011



### INTERPRETACIÓN

El cuadro N° 1 presenta los resultados del monitoreo de pH de las lluvias de la ciudad de Cerro de Pasco en sus 8 puntos de monitoreo, correspondiente al mes de Octubre del año 2011; dichos resultados fueron analizados y contrastados con otros estudios, puesto que no existe aún una normativa para tal caso.

Los resultados demuestran la presencia de lluvias ácidas en la zona de estudio, donde los valores pH que se presentaron fueron desde **4.6 – 6.0**.

La presencia de lluvia ácida en la ciudad se presenta con valores de pH menores a 5 y fueron en los puntos PLL1, PLL5, PLL6 y PLL7.

**CUADRO N° 2**

**RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – NOVIEMBRE 2011**

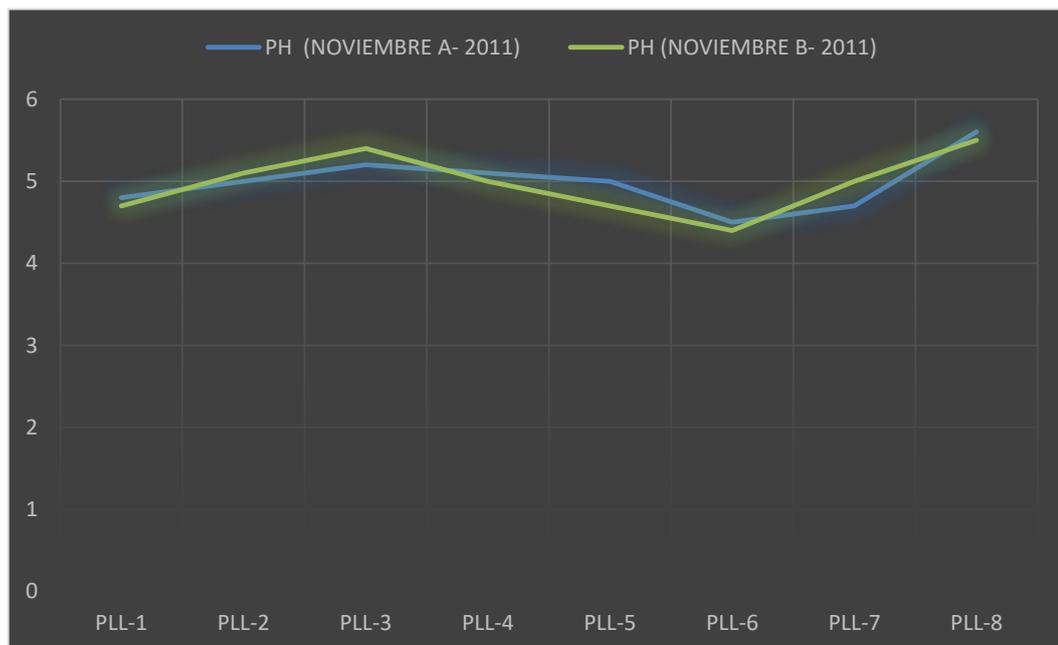
PARÁMETROS	PUNTOS DE MONITOREO							
	PLL-1	PLL-2	PLL-3	PLL-4	PLL-5	PLL-6	PLL-7	PLL-8
	PRIMER MUESTREO NOVIEMBRE (A) – 2011							
	Parque el Minero - Chaupimarca	Plaza Daniel A. Carrión (Chaupimarca)	Municipalidad Distrital de Yanacancha	Campamentos 1° de Mayo (Av. El minero)	CS. Uliachín (Chaupimarca)	P.S. Paragsha (Simón Bolívar)	5 Esquinas (Chaupimarca)	Parque Arenales (San Juan)
PH	4.8	5.0	5.2	5.1	5.0	4.5	4.7	5.6
	SEGUNDO MUESTREO NOVIEMBRE (B) – 2011							
PH	4.7	5.1	5.4	5.0	4.7	4.4	5.0	5.5
<p><b>Nota:</b> La lluvia normalmente presenta un pH de aproximadamente <b>5.65 (ligeramente ácido)</b>, debido a la presencia del CO<sub>2</sub> atmosférico, que forma ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Se considera <b>lluvia ácida</b> si presenta un <b>pH de menos de 5</b> y puede alcanzar el pH del vinagre (pH 3). Estos valores de pH se alcanzan por la presencia de ácidos como el ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y el ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>. Estos ácidos se forman a partir del dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>, y el monóxido de nitrógeno que se convierten en ácidos.</p>								

Fuente: Elaboración propia según los resultados del monitoreo de PH de las lluvias de la ciudad de Cerro de Pasco Noviembre 2011 (2 monitoreos x mes) /Bachiller Alejandro Franco Ramos

## GRÁFICO N° 2

### RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD

#### DE CERRO DE PASCO – NOVIEMBRE 2011



### INTERPRETACIÓN

El cuadro N° 2 presenta los resultados del monitoreo de pH de las lluvias de la ciudad de Cerro de Pasco en sus 8 puntos de monitoreo, correspondiente al mes de Noviembre del año 2011.

Los resultados demuestran que en más del 80% de los puntos evaluados existe la presencia de lluvia ácida de forma moderada, los valores que se presentaron fueron desde **4.4 hasta 5.6**.

Las causas posibles de la presencia de lluvias ácidas se deben a que en los puntos evaluados, es donde existe mayor afluencia de vehículos de transporte, se encuentran realizando actividades mineras, quema de residuos sólidos, entre otras actividades contaminadoras.

**CUADRO N° 3**

**RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – DICIEMBRE 2011**

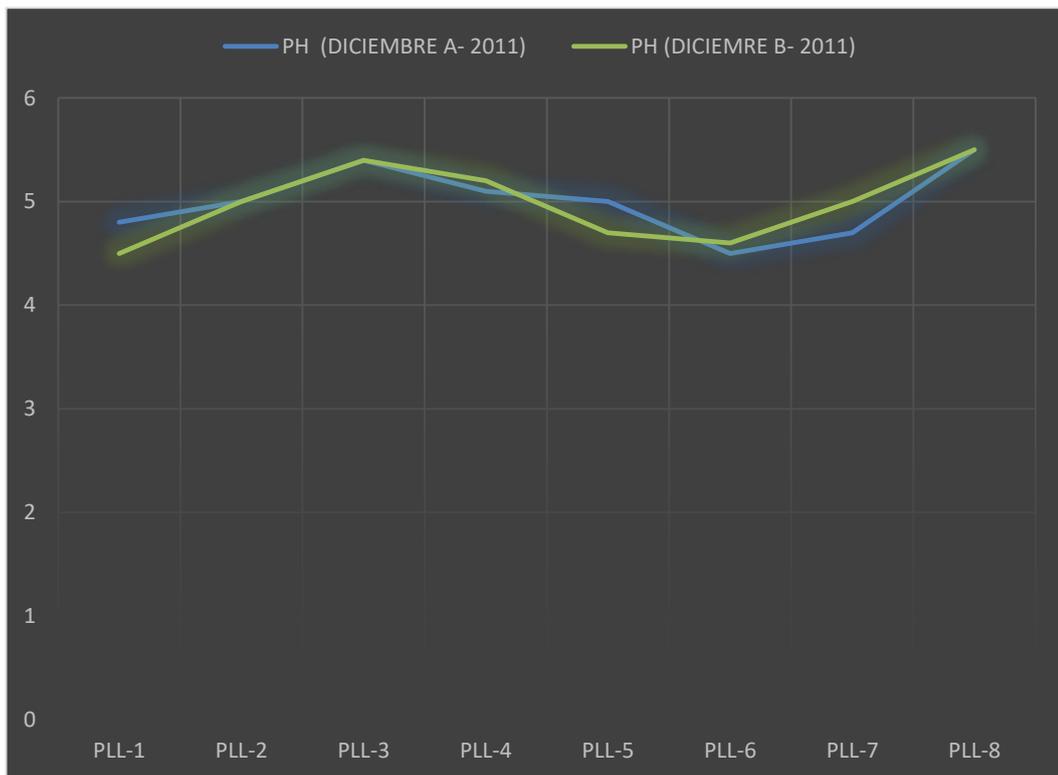
PARÁMETROS	PUNTOS DE MONITOREO							
	PLL-1	PLL-2	PLL-3	PLL-4	PLL-5	PLL-6	PLL-7	PLL-8
	PRIMER MUESTREO DICIEMBRE (A) – 2011							
	Parque el Minero - Chaupimarca	Plaza Daniel A. Carrión (Chaupimarca)	Municipalidad Distrital de Yanacancha	Campamentos 1° de Mayo (Av. El minero)	CS. Uliachín (Chaupimarca)	P.S. Paragsha (Simón Bolívar)	5 Esquinas (Chaupimarca)	Parque Arenales (San Juan)
PH	4.8	5.0	5.4	5.1	5.0	4.5	4.7	5.5
	SEGUNDO MUESTREO DICIEMBRE (B) – 2011							
PH	4.5	5.0	5.4	5.2	4.7	4.6	5.0	5.5
<p><b>Nota:</b> La lluvia normalmente presenta un pH de aproximadamente <b>5.65 (ligeramente ácido)</b>, debido a la presencia del CO<sub>2</sub> atmosférico, que forma ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Se considera <b>lluvia ácida</b> si presenta un <b>pH de menos de 5</b> y puede alcanzar el pH del vinagre (pH 3). Estos valores de pH se alcanzan por la presencia de ácidos como el ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y el ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>. Estos ácidos se forman a partir del dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>, y el monóxido de nitrógeno que se convierten en ácidos.</p>								

Fuente: Elaboración propia según los resultados del monitoreo de PH de las lluvias de la ciudad de Cerro de Pasco Diciembre 2011 (2 monitoreos x mes) /Bachiller Alejandro Jeanpiere Franco Ramos

### GRÁFICO N° 3

#### RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD

#### DE CERRO DE PASCO – DICIEMBRE 2011



El cuadro N° 3 presenta los resultados del monitoreo de pH de las lluvias de la ciudad de Cerro de Pasco en sus 8 puntos de monitoreo, correspondiente al mes de Diciembre del año 2011.

Los resultados demuestran que en más del 60% de los puntos evaluados existe la presencia de lluvia ácida de forma ligera o moderada, los valores que se presentaron fueron desde **4.5 hasta 5.5**.

Según la observación los problemas o efectos que está causando este tipo de lluvia, son el deterioro de las viviendas, estatuas, dificulta al crecimiento de vegetación en la zona, entre otros.

**CUADRO N° 4**

**RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – ENERO 2012**

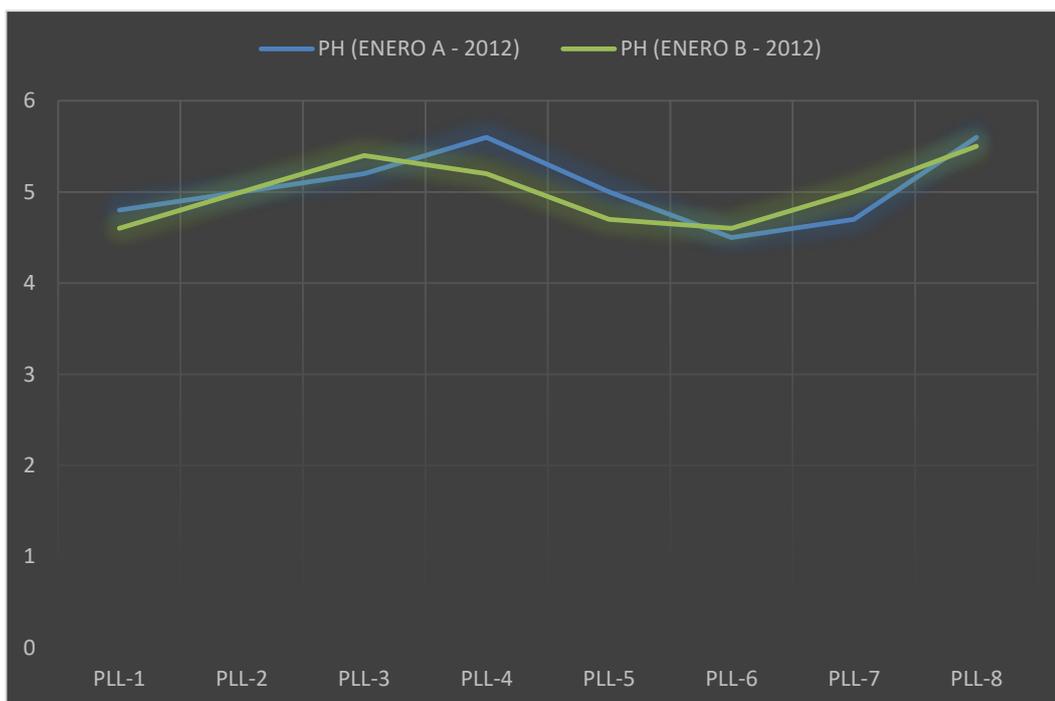
PARÁMETROS	PUNTOS DE MONITOREO							
	PLL-1	PLL-2	PLL-3	PLL-4	PLL-5	PLL-6	PLL-7	PLL-8
	PRIMER MUESTREO ENERO (A) – 2012							
	Parque el Minero - Chaupimarca	Plaza Daniel A. Carrión (Chaupimarca)	Municipalidad Distrital de Yanacancha	Campamentos 1° de Mayo (Av. El minero)	CS. Uliachín (Chaupimarca)	P.S. Paragsha (Simón Bolívar)	5 Esquinas (Chaupimarca)	Parque Arenales (San Juan)
PH	4.8	5.0	5.2	5.6	5.0	4.5	4.7	5.6
	SEGUNDO MUESTREO ENERO (B) – 2012							
PH	4.6	5.0	5.4	5.2	4.7	4.6	5.0	5.5
<p><b>Nota:</b> La lluvia normalmente presenta un pH de aproximadamente <b>5.65 (ligera mente ácido)</b>, debido a la presencia del CO<sub>2</sub> atmosférico, que forma ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Se considera <b>lluvia ácida</b> si presenta un <b>pH de menos de 5</b> y puede alcanzar el pH del vinagre (pH 3). Estos valores de pH se alcanzan por la presencia de ácidos como el ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y el ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>. Estos ácidos se forman a partir del dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>, y el monóxido de nitrógeno que se convierten en ácidos.</p>								

Fuente: Elaboración propia según los resultados del monitoreo de PH de las llluvias de la ciudad de Cerro de Pasco Enero 2012 (2 monitoreos x mes) /Bachiller Alejandro Jeanpiere Franco Ramos

## GRÁFICO N° 4

### RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD

#### DE CERRO DE PASCO – ENERO 2012



### INTERPRETACIÓN

El cuadro N° 4 presenta los resultados del monitoreo de pH de las lluvias de la ciudad de Cerro de Pasco en sus 8 puntos de monitoreo, correspondiente al mes de Enero del año 2012.

Los resultados demuestran también que en la mayoría de los puntos evaluados existe la presencia de lluvia ácida de forma ligera o moderada, los valores que se presentaron fueron desde **4.5 hasta 5.6**. La presencia de lluvia ácida fueron en los puntos PLL1, PLL2, PLL5, PLL6 y PLL7, que son zonas de mayor presencia de diferentes vehículos y maquinaria de actividad minera.

**CUADRO N° 5**

**RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – FEBRERO 2012**

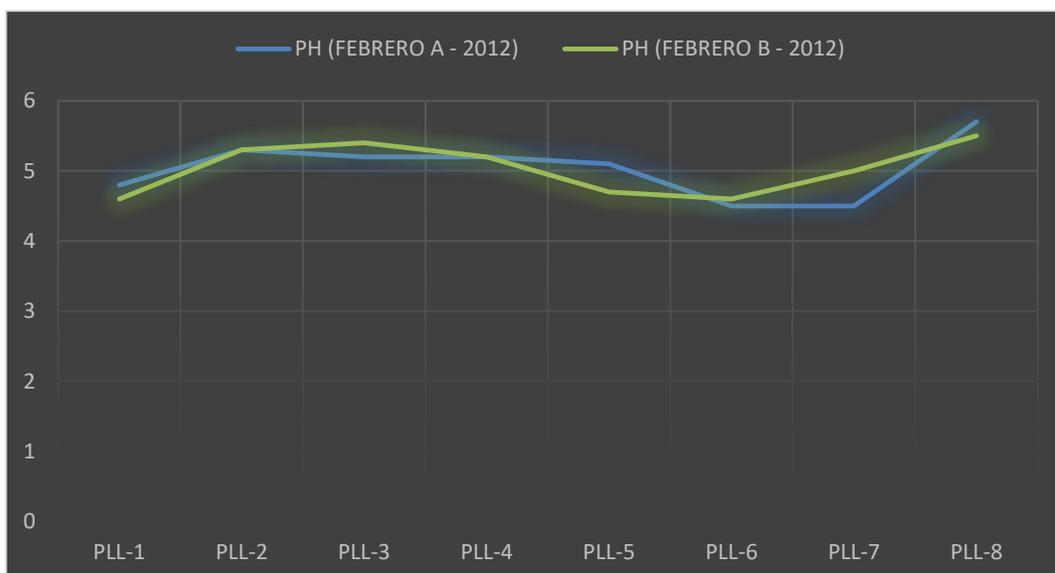
PARÁMETROS	PUNTOS DE MONITOREO							
	PLL-1	PLL-2	PLL-3	PLL-4	PLL-5	PLL-6	PLL-7	PLL-8
	PRIMER MUESTREO FEBRERO (A) – 2012							
	Parque el Minero - Chaupimarca	Plaza Daniel A. Carrión (Chaupimarca)	Municipalidad Distrital de Yanacancha	Campamentos 1° de Mayo (Av. El minero)	CS. Uliachín (Chaupimarca)	P.S. Paragsha (Simón Bolívar)	5 Esquinas (Chaupimarca)	Parque Arenales (San Juan)
PH	4.8	5.3	5.2	5.2	5.1	4.5	4.5	5.7
	SEGUNDO MUESTREO FEBRERO (B) – 2012							
PH	4.6	5.3	5.4	5.2	4.7	4.6	5.0	5.5
<p><b>Nota:</b> La lluvia normalmente presenta un pH de aproximadamente <b>5.65 (ligeramente ácido)</b>, debido a la presencia del CO<sub>2</sub> atmosférico, que forma ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Se considera <b>lluvia ácida</b> si presenta un <b>pH de menos de 5</b> y puede alcanzar el pH del vinagre (pH 3). Estos valores de pH se alcanzan por la presencia de ácidos como el ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y el ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>. Estos ácidos se forman a partir del dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>, y el monóxido de nitrógeno que se convierten en ácidos.</p>								

Fuente: Elaboración propia según los resultados del monitoreo de PH de las lluvias de la ciudad de Cerro de Pasco Febrero 2012  
(2 monitoreos x mes) /Bachiller Alejandro Jeanpiere Franco Ramos

## GRÁFICO N° 5

### RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD

#### DE CERRO DE PASCO – FEBRERO 2012



El cuadro N° 5 presenta los resultados del monitoreo de pH de las lluvias de la ciudad de Cerro de Pasco en sus 8 puntos de monitoreo, correspondiente al mes de Febrero del año 2012.

Los resultados demuestran también que en la mayoría de los puntos evaluados existe la presencia de lluvia ácida de forma ligera o moderada, los valores que se presentaron fueron desde **4.5 hasta 5.7**. La presencia de lluvia ácida fueron en los puntos PLL1, PLL5, PLL6 y PLL7, que son zonas donde se presenta contaminación por la presencia de diferentes vehículos y maquinarias de actividad minera.

La presencia de lluvia ácida favorece al empobrecimiento de nutrientes esenciales en el suelo dificultando el crecimiento forestal.

**CUADRO N° 6**

**RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO – MARZO 2012**

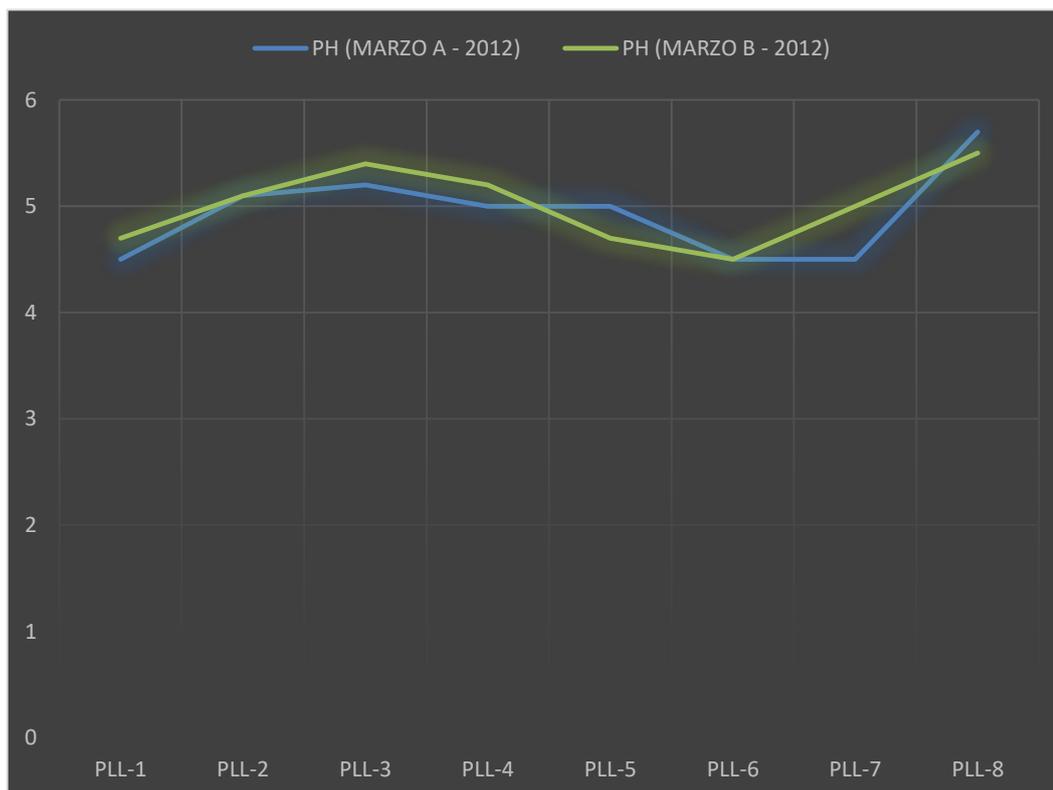
PARÁMETROS	PUNTOS DE MONITOREO							
	PLL-1	PLL-2	PLL-3	PLL-4	PLL-5	PLL-6	PLL-7	PLL-8
	PRIMER MUESTREO MARZO (A) – 2012							
	Parque el Minero - Chaupimarca	Plaza Daniel A. Carrión (Chaupimarca)	Municipalidad Distrital de Yanacancha	Campamentos 1° de Mayo (Av. El minero)	CS. Uliachín (Chaupimarca)	P.S. Paragsha (Simón Bolívar)	5 Esquinas (Chaupimarca)	Parque Arenales (San Juan)
PH	4.5	5.1	5.2	5.0	5.0	4.5	4.5	5.7
	SEGUNDO MUESTREO MARZO (B) – 2012							
PH	4.7	5.1	5.4	5.2	4.7	4.5	5.0	5.5
<p><b>Nota:</b> La lluvia normalmente presenta un pH de aproximadamente <b>5.65 (ligeramente ácido)</b>, debido a la presencia del CO<sub>2</sub> atmosférico, que forma ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Se considera <b>lluvia ácida</b> si presenta un <b>pH de menos de 5</b> y puede alcanzar el pH del vinagre (pH 3). Estos valores de pH se alcanzan por la presencia de ácidos como el ácido sulfúrico, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y el ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>. Estos ácidos se forman a partir del dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>, y el monóxido de nitrógeno que se convierten en ácidos.</p>								

Fuente: Elaboración propia según los resultados del monitoreo de PH de las llluvias de la ciudad de Cerro de Pasco Marzo 2012  
(2 monitoreos x mes) /Bachiller Alejandro Jeanpiere Franco Ramos

## GRÁFICO N° 6

### RESULTADOS DEL MONITOREO DE PH DE LAS LLUVIAS DE LA CIUDAD

#### DE CERRO DE PASCO – MARZO 2012



### INTERPRETACIÓN

El cuadro N° 6 presenta los resultados del monitoreo de pH de las lluvias de la ciudad de Cerro de Pasco en sus 8 puntos de monitoreo, correspondiente al mes de Marzo del año 2012.

Los resultados demuestran también que en más del 70% de los puntos evaluados existe la presencia de lluvia ácida de forma ligera o moderada, los valores que se presentaron van desde **4.5 hasta 5.7**.

#### **4.1.2 Identificación y Determinación de las causas de las lluvias ácidas en las zonas de estudio**

- La quema de combustibles fósiles y la industrialización en general está provocando cambios en la atmósfera de la ciudad.
- Contaminación atmosférica sigue la dirección del viento y cae con la lluvia.
- El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro, este compuesto es el principal responsable de la lluvia ácida ya que se convierte en ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
- La fuente principal de óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>) es el transporte (automóviles, maquinaria pesada, aviones, etc.).
- Los óxidos de azufre se producen en la quema de combustibles (especialmente carbón), en centrales térmicas para producir electricidad, en la fundición de minerales y en otros procesos industriales.

#### **4.1.3 Determinación si las lluvias ácidas son fuente de deterioro ambiental en la zona de estudio.**

- **En las aguas subterráneas y en la corrosión de tuberías:** Evidentemente, las aguas subterráneas también pueden presentar contaminación (por aluminio), lo cual es un riesgo para la población humana que consuma esas aguas.

Además, el agua ácida puede disolver los compuestos metálicos de las tuberías o recipientes para agua, algunos de los cuales son muy tóxicos, como el plomo, el cobre, el zinc o el cadmio (de soldaduras).

- **En las construcciones humanas:** Los materiales de construcción (acero, bronce, pintura, mármol, piedra arenisca o caliza...) sufren erosión por culpa de la lluvia ácida. Se acepta que el principal agente corrosivo es el dióxido de azufre y sus productos secundarios. Esta ha sido la causa de una aceleración en la corrosión de estatuas que se mantuvieron bien durante siglos.

- **En el suelo:** La acidez penetra en la tierra y afecta las raíces de los árboles, al tiempo que sus hojas se ven afectadas también directamente por las gotas de lluvia que reciben. El proceso de envenenamiento de la flora termina con la muerte de las plantas y árboles.

- La consecuencia de la lluvia ácida en el ser humano determina un incremento muy importante de las afecciones respiratorias (asma, bronquitis crónica, síndrome de Krupp, etc.) y un aumento de los casos de cáncer.

La contaminación debilita todo el organismo, sea humano, vegetal o animal, y eso provoca una disminución de las defensas y una mayor disposición a contraer enfermedades. Los más afectados son los niños, las personas mayores, las mujeres embarazadas y los aquejados de dolencias crónicas como corazón, circulación y asma.

#### **4.1.4 Identificación de los daños que causan las lluvias ácidas en la zona de estudio.**

- Uno de los efectos más conocidos es el calentamiento global o efecto invernadero.
- El  $\text{SO}_2$  es un gas incoloro que provoca afecciones respiratorias y cardiovasculares, llegando incluso a provocar la muerte. Los ancianos y los niños son los más afectados, pero también afecta negativamente a especies vegetales.
- El dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) irrita los pulmones, causa bronquitis y neumonía, reduciendo la resistencia a las infecciones respiratorias.
- Las plantas acumulan mayores cantidades de metales pesados, siendo ingeridos posteriormente por los herbívoros.

## ANEXO N° 01

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

#### “DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE LLUVIA ÁCIDA, UN FACTOR DE LA DEGRADACION DEL MEDIO AMBIENTE EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO (YANACANCHA, CHAUPIMARCA Y PARAGSHA)”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<p><b>General:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Qué grado de acidez presentan las llluvias en las zonas de estudio y que problemas está generando al ambiente de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha?</li> </ul> <p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuáles son las causas de las llluvias ácidas en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha?</li> <li>¿Cuál es el grado de acidez de las llluvias en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha?</li> <li>¿Las llluvias ácidas son fuente de degradación de los recursos naturales de la ciudad?</li> <li>¿Qué daños causan al medio ambiente las llluvias ácidas en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha?</li> </ul>	<p><b>General:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer y Determinar los problemas que ocasionan al medio ambiente la presencia de Lluvia Ácida en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha.</li> </ul> <p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar las causas de las llluvias ácidas en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha.</li> <li>Monitorear el pH de las llluvias que se forman en Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha para determinar su grado de acidez.</li> <li>Determinar si las llluvias ácidas son fuente de deterioro ambiental.</li> <li>Identificar los daños que causan al medio ambiente las llluvias ácidas en las zonas de estudio.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Las aguas de llluvia ácida en las zonas de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha ocasionan problemas y daños al medio ambiente.</li> </ul> <p><b>Hipótesis Especificas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La quema de residuos y las emisiones del parque automotor causan las llluvias acidas en la zona de estudio.</li> <li>El pH de las llluvias de Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha presentan alto grado de acidez.</li> <li>Los recursos naturales de la ciudad de Cerro de Pasco son degradados por las llluvias ácidas.</li> <li>Las llluvias acidas causan el deterioro ambiental y daños a los seres vivos (personas, plantas y animales).</li> </ul>	<p><b>Variable Dependiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Degradación del medio ambiente.</li> </ul> <p><b>Variable Independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Presencia de Lluvia Ácida en la ciudad Cerro de Pasco (Chaupimarca, Yanacancha y Paragsha)</li> </ul>

**Fuente: Bach.: Alejandro Jeanpiere Franco Ramos**