

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ciencias Ambientales

**Proyecto de Fin de Carrera previo a la obtención del Título
de Ingeniera Ambiental**

**Características ácido-básicas y composición iónica de las
lluvias en la Reserva Biológica Limoncocha-Ecuador**

Autor:

Estefanía Isabel Fierro Peñafiel

Director del Proyecto:

Dr. Carlos Ordóñez

Quito – Ecuador

2010

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por su amor y apoyo
incondicional en todo momento.

A mi sobrina Martina por darnos felicidad.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la oportunidad de estar viva.

A mis padres quienes a lo largo de mi vida han apoyado y motivado mi formación académica.

Al Dr. Carlos Ordóñez por su gran apoyo, paciencia y enseñanza.

A la Universidad Internacional SEK por prepararme para un futuro competitivo y formarme como persona de bien.

A Jendry Moya y a su familia por el apoyo brindado en el desarrollo de este proyecto.

A los señores miembros del Tribunal por su tiempo y ayuda.

A mi compañera y amiga Diany Peñaherra por su compañía y apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | 1 |
| SUMMARY | 2 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO..... | 4 |
| 1.2 ÁREA DE ESTUDIO..... | 4 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 6 |
| 1.3.1 Objetivo general | 6 |
| 1.3.2 Objetivo general | 6 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 7 |
| 2.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA | 7 |
| 2.2 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS..... | 7 |
| 2.3 FORMACIÓN DE DEPÓSITOS ÁCIDOS | 7 |
| 2.4 ORIGEN DE LAS SUSTANCIAS QUE PRODUCEN DEPÓSITOS ÁCIDOS..... | 8 |
| 2.5 ACIDIFICACIÓN DE LA ATMÓSFERA..... | 8 |
| 2.6 LLUVIA ÁCIDA | 8 |
| 2.7 TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES | 10 |
| 2.8 LAVADO POR PRECIPITACIÓN | 10 |
| 2.9 VOLUMEN DE AIRE BARRIDO (LAVADO ATMOSFÉRICO) | 10 |
| 2.9 ACIDEZ -BASICIDAD Y ALCALINIDAD..... | 10 |
| 2.11 REACCIONES ÁCIDO-BASE EN LA ATMÓSFERA..... | 11 |
| 2.12 ANIONES PRESENTES EN LA LLUVIA ÁCIDA | 11 |
| 2.12.1 Anión sulfato | 12 |
| 2.12.2 Anión cloruro | 12 |
| 2.12.3 Anión nitrato | 12 |

| | |
|--|----|
| 2.13 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA..... | 12 |
| 2.14 CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA LLUVIA..... | 13 |
| 2.15 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)..... | 13 |
| 2.16 pH EN AGUAS LLUVIAS..... | 13 |
| 2.17 COMPOSICIÓN DEL AGUA LLUVIA NATURAL..... | 14 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 17 |
| 3.1 MUESTREO DE AGUA..... | 17 |
| 3.2 DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO..... | 17 |
| 3.2.1 Descripción de puntos de muestreo..... | 18 |
| 3.3 INSTALACIÓN DE MUESTREADORES..... | 21 |
| 3.4 4 DISPOSICIÓN DE MUESTRAS DE AGUA LLUVIA PARA EL ANALISIS..... | 22 |
| 3.5 PARÁMETROS DE MEDICIÓN..... | 23 |
| 3.5.1 Equipos para mediciones específicas..... | 23 |
| 3.5.2 Medición del ión sulfato..... | 23 |
| 3.5.3 Medición del ión cloruro..... | 23 |
| 3.5.4 Medición del ión nitrato..... | 23 |
| 3.5.5 Medición del ión amonio..... | 24 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 25 |
| 4.1 RESULTADOS..... | 25 |
| 4.2 DISCUSIÓN..... | 28 |
| 4.2.1 pH..... | 32 |
| 4.2.2 Conductividad eléctrica..... | 41 |
| 4.2.3 Ión sulfato..... | 44 |
| 4.2.6 Ión nitrato..... | 47 |
| 4.2.7 Ión cloruro..... | 50 |

| | |
|---|----|
| 4.2.8 Ión amonio | 53 |
| 4.3 CORRELACIÓN DE DATOS | 56 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 60 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 60 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 62 |
| BIBLIOGRAFIA | 63 |
| GLOSARIO | 66 |
| ANEXOS FOTOGRÁFICOS | 70 |

RESUMEN

Las lluvias juegan un papel importante en la remoción de compuestos solubles presentes en la atmósfera. El presente Trabajo de Fin de Carrera inició el 25 de febrero del 2010 y culminó el 9 de julio del 2010. Se llevaron a cabo seis jornadas de recolección de muestras durante tres días por mes y en ocho locaciones diferentes de la Reserva Biológica Limoncocha. Las lluvias fueron recolectadas y preservadas con cloroformo. Para la recolección de las muestras se utilizó colectores convencionales ubicados en cada punto de muestreo. Se determinó el pH y conductividad eléctrica utilizando el equipo Thermo Scientific, modelo Orion 5 star, equipado con un electrodo de vidrio. Los iones inorgánicos: sulfatos, nitratos, cloruros y amonio se determinaron usando el Espectrofotómetro UV- visible HACH 4000. El valor promedio del pH obtenido en las lluvias de la Reserva fue de 5.2, lo cual indica que la atmósfera es ligeramente ácida. La especie neutralizante constituye el catión amonio. Las bajas concentraciones de estos iones sugieren que los pH ácidos se deben principalmente a la presencia en el aire de compuestos orgánicos como el ácido acético y el ácido fórmico provenientes de la oxidación de materia orgánica y de emisiones biogénicas. Los resultados muestran que las lluvias recolectadas poseen una composición iónica similar a la composición iónica de las lluvias naturales. En general la RBL está muy poco afectada por emisiones antrópicas, siendo las emisiones naturales la principal fuente de compuestos químicos presentes en la atmósfera.

Palabras clave: Precipitación ácida/ Lluvia ácida/ pH/ Reserva Biológica Limoncocha/ Equilibrio ácido-básico/ Contaminación atmosférica.

SUMMARY

The rains play an important role in the removal of soluble compounds in the atmosphere. The study began on February 25, 2010 and ended on July 9, 2010. Sample collections were carried out on select days, three days per month in eight different locations of Limoncocha Biological Reserve. Rainfall was collected by events and preserved with chloroform. In order to collect rain samples conventional collectors were used at each sampling point. We determined the pH and electrical conductivity using the Thermo Scientific Orion 5 star model apparatus, equipped with a glass electrode. The inorganic ions: sulfates, nitrates, chlorides and ammonium were determined using UV-visible spectrophotometer HACH 4000. The average pH of rain in the reserve was 5.2 which indicates that the atmosphere is slightly acidic. The neutralizing species is the ammonium. The low concentration of inorganic anions suggest that acidic pH obtained are mainly due to the presence in the atmosphere of organic compounds such as acetic acid and formic acid from oxidation of organic matter and biogenic emissions. The results show that the rains that were collected have a similar ionic composition to the ionic composition of natural rain. In general, the RBL is very little affected by anthropogenic emissions, natural emissions are the main source of chemical compounds in the atmosphere.

Keywords: Acid precipitation/ Acid rain/ pH /Limoncocha Biological Reserve/ Acid-base balance/ air pollution.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Uno de los principales efectos asociados a la contaminación atmosférica es la lluvia ácida. Las primeras apariciones de este fenómeno se observaron en Suecia (1848), Inglaterra (1877) y en Alemania (1867), en donde se encontraron lluvias más ácidas de lo normal. Se señaló además que el agua de lluvia natural es considerada ácida, dado que su pH suele ser de 5.6, esto se debe a que cuando el agua lluvia cae disuelve parte del dióxido de carbono (CO_2) presente en la atmósfera y retorna a la superficie en forma de "ácido carbónico" (Rodríguez y Sánchez, 2008).

En este Trabajo de Fin de Carrera se presenta y discute la composición química y las características ácido-básicas de las lluvias en la Reserva Biológica Limoncocha, ubicada al nororiente de la Región Amazónica en la provincia de Sucumbíos.

El estudio comprendió básicamente, la recolección de muestras de lluvia en diferentes sitios alrededor de la Reserva. En estas muestras de depósito húmedo se realizó un análisis de las condiciones de pH, un análisis de los compuestos iónicos y una evaluación de las condiciones de calidad de agua lluvia en esta zona.

La lluvia tiene un rol importante en la Química de la Atmósfera removiendo de ésta especies solubles, tales como gases y material particulado. Podríamos afirmar entonces que, la composición química de la lluvia es una medida del reciclaje y aporte de nutrientes al ecosistema. El origen de los compuestos removidos por la lluvia suele ser la misma región donde se depositan (SANHUEZA, Eugenio, SANTANA, Magaly, DONOSO, Loreto et al. Química atmosférica en la Gran Sabana III: INCI, oct. 2005, vol. 30, N^o10, p. 618-622).

El trabajo llevado a cabo por E. Sanhueza et al, en octubre del 2005, denominado "*Química Atmosférica en la Gran Sabana III*", constituyó el marco referencial principal para el presente proyecto. En este estudio se describe el procedimiento y metodología de muestreo de agua lluvia (deposición húmeda) y los métodos analíticos para la determinación de aniones inorgánicos y orgánicos así como de la valoración de las características ácidas o básicas de la lluvia

(SANHUEZA, Eugenio, SANTANA, Magaly, DONOSO, Loreto et al. Química atmosférica en la Gran Sabana III: INCI, oct. 2005, vol. 30, N^o10, p. 618-622).

Los proyectos realizados en enero del 2008 referente al Estado de la Lluvia Ácida en la Zona Metropolitana del Valle de México y en octubre del 2002 sobre Lluvia Ácida en los Bosques del Poniente del Valle de México, también formaron parte del marco referencial para esta investigación. En estos estudios se analiza la conductividad eléctrica, el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de los compuestos químicos de las precipitaciones húmedas en el Valle de México, además se analizan las especies químicas (sulfatos, nitratos, cloruros, amonio, entre otros) que contribuyen a que las aguas lluvias se vuelvan ácidas.

La actividad humana ha incrementado la frecuencia y la intensidad de las emisiones no naturales de partículas a la atmósfera, dando lugar a atmósferas contaminadas, es decir, atmósferas que contienen concentraciones elevadas de compuestos que pueden ser tóxicos o corrosivos. La contaminación atmosférica tiene efectos directos sobre el clima, la vegetación y la calidad de vida de los habitantes de las zonas afectadas (Sierra y Gómez, 2007).

Actualmente un alto porcentaje de la actividad petrolera en el Ecuador se desarrolla en Áreas Protegidas o en Reservas Biológicas, estas actividades generan impactos ambientales y sociales. La Reserva Biológica Limoncocha alberga gran cantidad de flora y fauna, tiene un valor social y cultural importante. Un estudio de este tipo dentro de la Reserva es pertinente y viable debido a que se puede estimar el daño generado por las emisiones atmosféricas.

Este proyecto no tiene antecedentes en el país o no existe información, por ello, la importancia de llevarlo a cabo.

1.2 AREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la Reserva Biológica de Limoncocha (RBL), ubicada al nororiente de la Región Oriental ecuatoriana, en el cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos.

La Reserva tiene una extensión 4613,25 hectáreas, una altitud promedio de 230 msnm y corresponde a las coordenadas geográficas 0 22' – 0 27' latitud Sur y 76 33' – 76 37' longitud

Oeste. El promedio de temperatura y precipitación anual es de 24.9° C y de 3,065 milímetros respectivamente. (Lasso & Bastidas, 2008).

Su ecosistema pertenece al bosque húmedo tropical. Una parte de este bosque corresponde a bosque maduro y tiene áreas temporalmente inundadas. Otro sector está cubierto de bosque secundario y un tercer sector por matorral de pantano temporal o inundable permanente (Lasso & Bastidas, 2008).

En la Reserva el promedio de precipitación mensual es menor a 183.7 mm en el mes de diciembre y mayor a 325.7 mm en el mes de abril. La temperatura máxima mensual registrada es de 31 °C y la mínima es de 16 °C. La temperatura durante el año es homogénea excepto en el mes de julio, que es el mes más frío. La velocidad del viento es baja y constante durante el año.

La humedad relativa es constante y homogénea (Lasso & Bastidas, 2008)

Dentro de RBL encontramos la laguna de Limoncocha, la cual posee un espejo de agua de 370 hectáreas, una longitud máxima de 3 kilómetros por 1 kilómetro de ancho y una profundidad de 2.3 metros (Ayala 2003). Esta Laguna es muy importante para las comunidades de la Reserva, debido a la actividad pesquera de la población. Se encuentra rodeada de una vegetación acuática, semiacuática y se observa la presencia de abundante alga filamentosa (Lasso & Bastidas, 2008)

En lo que respecta a la flora de la Reserva Biológica, a continuación se presentan las especies más representativas y principales:

- Epifitas, herbáceas, lianas, bejuco, trepadoras, palmas, arbustos, enredaderas, cedro y ña de gato, varzea o igapó, Inga spp “guabas” etc. (Lasso & Bastidas; 2008).

A continuación se presenta un listado de las principales clases de fauna que se encuentran dentro de la Reserva:

- Aves: pavas, chachalacas, pavones, curasaos, perdices americanas o tinamúes, tangaras, ruiseñores, mirlos, gorriones, gavián negro, pericos, loras, guacamayos, garzas, etc.
- Mamíferos: murciélagos, raposas, armadillos, monos, danta, guatusa, jaguar, capibara, tigrillo, nutrias, cusumbos, etc.

- Reptiles: caimán negro, tortuga charapa y motelo, culebras, iguanas, etc.
- Anfibios: sapos, lagartijas, salamandras, etc.
- Peces: piraña, sardinas, bagres, barbudos, bocachico, corvina, etc.
- Invertebrados: Insecta, Arachnoidea, Gastrópoda e Hirudinea. La clase más representativa es la de los insectos (Lasso & Bastidas, 2008).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Carrera es analizar las características ácido- básicas y la composición iónica de las aguas lluvia en la Reserva Biológica Limoncocha para determinar si su atmósfera presenta condiciones de “lluvia ácida.”

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las condiciones de pH que presenta la lluvia en esta zona.
- Analizar los compuestos iónicos presentes en la lluvia.
- Evaluar las condiciones de calidad del agua de la lluvia.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La contaminación del aire debido a sustancias dañinas emitidas a la atmósfera varía enormemente. La contaminación atmosférica puede ser local, cuando una sola fábrica o un conjunto de fábricas afectan a una misma área. La contaminación regional ocurre a una escala muy superior de varios cientos de kilómetros cuadrados como es el caso del smog fotoquímico que afecta a una gran área metropolitana. La contaminación atmosférica global se da por la presencia de gases como el dióxido de carbono y metano que causan el calentamiento del planeta, además la disminución del ozono troposférico por la existencia de los clorofluocarbonados (Manahan, 2007).

2.2 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Varios contaminantes gaseosos entran a la atmósfera como resultado de las actividades humanas (quema de combustibles fósiles, plantas industriales, combustión de carbón, ganadería). La atmósfera se contamina por una gran cantidad de compuestos químicos, los más comunes y que actualmente están sometidos a medidas de control, son: monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, compuestos orgánicos y partículas. Los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles constituyen los ingredientes básicos del smog fotoquímico. Las emisiones atmosféricas de monóxido de carbono, óxidos de azufre y nitrógeno son del orden de uno a varios centenares de millones de toneladas al año (Spiro y Stigliani, 2004; Manahan, 2007).

2.3 FORMACIÓN DE DEPÓSITOS ÁCIDOS

Los depósitos ácidos son formados como consecuencia de emisiones de dióxidos de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), gas clorhídrico (HCl) y amoníaco (NH₃). Su transformación en la atmósfera genera ácidos contaminantes. La formación de precipitaciones ácidas puede ser el

resultado de varios procesos: a) Presencia de contaminantes secundarios como los ácidos sulfúrico y nítrico que se forman a partir de procesos de oxidación y disolución de óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre que son emitidos a la atmósfera; b) Se puede producir también acidificación cuando los contaminantes liberados se fijan directamente sobre la superficie terrestre e interactúan con el agua; c) El ácido clorhídrico en ocasiones es emitido directamente a la atmósfera (Seoáñez, 2002).

2.4 ORIGEN DE LAS SUSTANCIAS QUE GENERAN DEPÓSITOS ÁCIDOS

Los óxidos de azufre se forman principalmente por fuentes antrópicas como procesos de purificación de metales y por la combustión de carbono. Las fuentes naturales que emiten óxidos de azufre son la materia orgánica y las erupciones volcánicas. Los óxidos de nitrógeno se generan principalmente por actividades humanas como la combustión de petróleo, gas y carbón. Las bacterias y la acción volcánica son fuentes naturales de estos óxidos. Las fuentes principales de amoníaco son las generadas por la ganadería (Seoáñez, 2002). En algunas regiones industrializadas las emisiones de cloruro de hidrógeno gaseoso (HCl) pueden contribuir a la formación de precipitación ácida. El HCl es un contribuyente significativo en la acidez de la lluvia, sin embargo, las fuentes y mecanismos de su formación aún no se han establecido completamente. Las emisiones antrópicas provienen principalmente de la producción de cloro como gas y HCl (Sánchez, Ligbel. *et al.*, 2008).

2.5 ACIDIFICACIÓN DE LA ATMÓSFERA

Se dice que una atmósfera se vuelve ácida, como consecuencia del retorno a la superficie, en forma de ácidos, de los dióxidos de azufre y óxidos de nitrógeno descargados a la atmósfera. Esta acidificación se puede producir como deposición seca o deposición húmeda (lluvia ácida) (Espert y López, 2004).

2.6 LLUVIA ÁCIDA

Se denomina lluvia ácida a las precipitaciones acidificadas por la presencia de ácidos más fuertes que el dióxido de carbono CO_2 (aq). La deposición ácida se refiere generalmente a la deposición

en la superficie de sales ácidas como NH_4HSO_4 y gases ácidos como el SO_2 . A todos los tipos de precipitación ácida acuosa como niebla, rocío, nieve y aguanieve se los conoce como lluvia ácida (Manahan, 2007).

Para comprender este fenómeno, se debe conocer la distribución en espacio y tiempo de los contaminantes más importantes que son capaces de acidificar: SO_2 , NO_x y HCl , así como su transformación química en la atmósfera y su eliminación por deposición sobre la superficie (Puigcerver y Carrascal, 2008).

La acidez se debe también a que el agua de lluvia contiene disueltos otros ácidos fuertes como el ácido sulfúrico y ácido nítrico, que son generados a partir de contaminantes emitidos a la atmósfera. El fenómeno de lluvia ácida consiste en precipitaciones de mayor acidez (pH menor a 5,6) que una precipitación natural (Sierra y Gómez, 2007).

Los átomos de oxígeno al combinarse con el vapor de agua de la atmósfera forman radicales hidróxido y estos a su vez se combinan con los dióxidos de nitrógeno y de azufre (fuentes naturales y antropogénicas) produciendo ácidos nítrico y sulfúrico. Estos ácidos se ionizan totalmente cuando se disuelven en agua e incrementan considerablemente la concentración de iones de hidrógeno, llegando a pH inferiores a 3. En lagunas y lagos la acidificación genera cambios en todo los niveles de la cadena trófica. Estos cambios se deben principalmente a la disminución del pH lo que origina una disolución de metales pesados presentes en los cuerpos de agua. El enriquecimiento de metales pesados origina efectos tóxicos para organismos acuáticos, especialmente a los huevos de peces que son destruidos a pH bajos (Pasquali, 2003).

Existe una extensa evidencia de los daños o efectos perjudiciales de la lluvia ácida, entre estos tenemos:

- Destrucción de bosques sensibles
- Daños en el sistema respiratorio de seres humanos y animales
- Fitotoxicidad directa de las plantas por altas concentraciones ácidas
- Acidificación del agua de los lagos y lagunas con efectos tóxicos a la flora y fauna.

- Corrosión de estructuras expuestas debido al efecto del ión hidrógeno.
- Efectos tóxicos a la flora y fauna sensible (Manahan, 2007).

2.7 TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES

El proceso de transferencia de los contaminantes que generan la lluvia ácida, dióxido de azufre – óxidos de nitrógeno, comprende el flujo y la dinámica de éstos con relación al origen de sus emisiones y su depósito final, tomando en cuenta las condiciones meteorológicas prevalecientes (Muñoz, Roberto. *et al.*, 2008).

2.8 LAVADO POR PRECIPITACIÓN

El lavado de los contaminantes atmosféricos por la lluvia constituye, el método de limpieza más eficaz que dispone la atmósfera. Al caer una gota de lluvia, ésta barre un cierto volumen de aire (Puigcerver y Carrascal, 2008).

2.9 VOLUMEN DE AIRE BARRIDO (LAVADO ATMOSFÉRICO)

Se expresa mediante la ecuación xwS , en donde, S es el área de la sección recta de la gota y w su velocidad de caída, el volumen de aire barrido por unidad de tiempo es igual a wS , y si la concentración del contaminante considerado es x , la gota barre una masa xwS . Sin embargo, no todas las partículas o moléculas contaminantes dentro del volumen considerado llegan a chocar con la gota: la propia caída de ésta produce una perturbación en el aire, a consecuencia de la cual, algunas de ellas escapan fuera del volumen wS (Puigcerver y Carrascal, 2008).

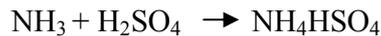
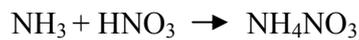
2.10 ACIDEZ – BASICIDAD Y ALCALINIDAD

La acidez y basicidad en el agua involucra la pérdida y aceptación de iones H^+ . Ciertas especies químicas actúan como ácidos en el agua liberando iones H^+ y otras como bases aceptando iones H^+ . La acidez se conoce como la capacidad del agua de neutralizar iones OH^- y la alcalinidad como la capacidad de neutralizar H^+ . La mayoría de las aguas tiene cierta alcalinidad pero no es común encontrar aguas ácidas, si este es el caso, son aguas con alta contaminación. Es importante distinguir entre alta basicidad que es manifestada por un pH elevado y alta alcalinidad que es la

elevada capacidad de aceptar H^+ . El pH es un valor de intensidad y la alcalinidad es un factor de capacidad (Manahan, 2007).

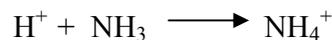
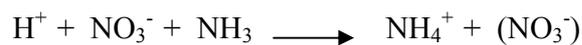
2.11 REACCIONES ÁCIDO-BASE EN LA ATMÓSFERA

El agua de lluvia generalmente presenta un pH ácido y las especies básicas son relativamente menos comunes en la atmósfera. La especie básica más representativa en la atmósfera es el gas amoníaco NH_3 , esta especie es particularmente importante como compuesto alcalino en el aire debido a que es la única base soluble en agua presente en niveles significativos, y disuelta en gotas de agua lluvia neutraliza los ácidos atmosféricos como el ácido nítrico y sulfúrico. La mayor fuente de amoníaco atmosférico es la biodegradación de material biológico que contienen nitrógeno y de la actividad bacteriana (Manahan, 2007).



Estas reacciones dan como resultado la presencia del ión NH_4^+ en forma de sales disueltas en la atmósfera. Estas reacciones sirven para neutralizar las especies ácidas de la atmósfera y producen las relativamente corrosivas sales de amonio (Manahan, 2007).

Existe un sinnúmero de reacciones que se producen en la atmósfera una de ellas es la formación de amonio a partir de nitratos y amoníaco:



(Kennet. *et al.*, 1994).

2.12 ANIONES PRESENTES EN LA LLUVIA ÁCIDA

Los aniones disueltos en el agua de lluvia proporcionan información respecto a las fuentes principales de gases que provocan la acidificación de estas aguas. El anión más abundante (en la mayoría de los casos) es el sulfato, lo cual refleja la presencia de ácido sulfúrico en la atmósfera

originada por la oxidación del contaminante dióxido de azufre. El segundo anión más abundante es el nitrato que procede principalmente de la oxidación de óxidos de nitrógeno. La proporción de ácido nítrico en la atmósfera aumenta debido a que las fuentes de dióxido de azufre son más controladas. La presencia de ácido clorhídrico en la atmósfera genera el tercer anión más abundante en el agua de lluvia ácida, el cloruro (Manahan, 2007).

2.12.1 Anión sulfato

El ión sulfato (SO_4^{2-}) corresponde a sales moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen de 2 a 150 ppm, y el agua de mar cerca de 3000 ppm. Este anión es incoloro y neutro y procede principalmente del ácido fuerte H_2SO_4 (Burriel, *et al.*, 2003; Rigola, 2005).

2.12.2 Anión cloruro

El ión cloruro (Cl^-) forma sales muy solubles generalmente y en la mayoría de los casos está asociado al ión Na^+ , especialmente en aguas muy salinas. Este ión es incoloro y neutro y está presente en aguas dulces entre 10 a 250 ppm y el agua de mar puede contener alrededor de 20000 ppm (Rigola, 2005).

2.12.3 Anión nitrato

El ión nitrato (NO_3^-) es un anión incoloro y neutro que procede del ácido fuerte HNO_3 . Los nitratos forman sales estables y muy solubles a excepción de ciertas sales básicas que se disuelven en ácidos. Este ión en medio reductor pasa a nitrito, nitrógeno o amoníaco y su concentración normal es de menos de 10 ppm en aguas dulces y en agua de mar hasta 1 ppm, sin embargo, en aguas contaminadas los nitratos pueden llegar a contener centenares de ppm (Burriel, *et al.*, 2003; Rigola, 2005).

2.13 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica de una muestra de agua es la expresión numérica de su capacidad para transportar una corriente eléctrica, lo cual depende de la concentración total de iones disueltos, de su movilidad, su carga o valencia y de las concentraciones relativas, así como de la temperatura.

La corriente eléctrica es transportada a través de las soluciones por el movimiento de éstos iones disueltos y la conductividad aumenta a medida que se incrementa la concentración de iones (Jenkins, 2000; Muñoz, Roberto, *et al.*, 2008). La conductividad eléctrica se expresa normalmente en microsiemens por centímetro.

2.15 CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA LLUVIA

La conductividad de la lluvia en ambientes sin intervención es generalmente igual a cero, debido a que el agua de lluvia es muy diluida y se considera casi agua destilada. El valor de la conductividad eléctrica aumenta en ambientes donde existe intervención y dilución de gases y por la evaporación de aguas dulces y saladas. La lluvia que cae en un cuerpo de agua disminuye su conductividad y salinidad. En una zona determinada la cantidad y el tipo de iones que se disuelvan dependen de su geología ("CWT 2004").

Cuadro 1: Conductividad eléctrica en varios tipos de agua.

| TIPO DE AGUA | CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$) |
|-----------------------|---|
| Agua destilada | 0,5 - 3.0 |
| Derretido de nieve | 2 - 42 |
| Agua potable | 30-1500 |
| Arroyos de agua dulce | 100-2000 |

2.16 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

La magnitud de acidez o basicidad de una sustancia se expresa mediante la medición del pH. El pH es una forma de expresar la concentración de iones de hidrógeno o más exacto la actividad del ión hidrógeno. La representación de la escala de pH oscila de 0 a 14, en la que el pH de 7 a 25°C representa la neutralidad absoluta. La acidez aumenta cuando el pH disminuye y la basicidad aumenta con el incremento de pH (Sawyer, Clair *et al.*, 2001).

2.17 pH EN AGUAS LLUVIAS

El pH indica el nivel de acidez en el agua lluvia y depende, principalmente, de la presencia de ácidos fuertes (H_2SO_4 y HNO_3) que se forman a partir de emisiones antropogénicas de SO_2 y NO_x . Para determinar la presencia lluvia ácida en una región geográfica, se emplea como indicador el valor 5,6 (ligera acidez) que tiene el pH del agua de lluvia en condiciones naturales (Muñoz, Roberto, *et al.*, 2008).

La gran cantidad de CO_2 presente en la atmósfera disminuye el pH del agua de lluvia con respecto a la neutralidad en 1,3 unidades. Aún en ausencia de emisiones antropogénicas, el agua de lluvia presenta una acidez natural, sin embargo, al estar en contacto con minerales alcalinos presentes en el polvo proveniente de la erosión o con amoníaco resultante de emisiones industriales, el agua de lluvia puede ser neutra o alcalina (Spiro y Stigliani, 2004).

En áreas contaminadas la concentración de ácidos ($\text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4$) puede ser muy elevada y es bastante habitual que el agua de lluvia de ésta zonas alcance valores de pH entre 3,5 y 5 (Spiro y Stigliani, 2004).

2.18 COMPOSICIÓN DEL AGUA LLUVIA NATURAL

La composición del agua lluvia es muy variable y depende considerablemente de la presencia de contaminantes atmosféricos. La precipitación cerca de los océanos contiene una mayor cantidad de sulfatos, cloruros, sodio y magnesio que la precipitación en el interior de una extensión de tierra (Jenkins, 2000).

Las precipitaciones que se generan en atmósferas con altas concentraciones de dióxidos de azufre producidos por procesos de combustión pueden ser muy ácidas. El agua de lluvia es una solución muy diluida de sales disueltas y su pH de 5,5 a 6,5 es significativamente menor al pH del agua de mar y esto se debe a la presencia de CO_2 atmosférico. El agua de lluvia no puede mantener un pH neutro aún en presencia de cantidades tan pequeñas de ácidos debido a que no contiene amortiguadores o reguladores de pH. Los reguladores de pH son soluciones que resisten el cambio de pH por adición de un ácido fuerte H^+ , o de una base fuerte OH^- , es decir, es una

solución que tiene la capacidad de mantener una composición estable cuando se agregan o eliminan componentes (Jenkins, 2000).

Durante una precipitación pluvial se llevan a cabo reacciones químicas que modifican aún más la composición del agua, debido al contacto que establece con rocas y el suelo y se espera que después de estas reacciones se produzcan aguas de muy diversas composiciones (Jenkins, 2000).

Cuadro 2: Composición de agua lluvia natural.

| Parámetro/ Unidad | Promedio de análisis en cinco localidades | | | | |
|-------------------------------|---|------|-----|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| mg/L | | | | | |
| SiO ₂ | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.3 | 0.0 |
| Al (III) | 0.01 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Ca ²⁺ | 0.0 | 0.65 | 1.2 | 0.8 | 3.3 |
| Mg ²⁺ | 0.2 | 0.14 | 0.7 | 1.2 | 0.36 |
| Na ⁺ | 0.6 | 0.56 | 0.0 | 9.4 | 0.97 |
| K ⁺ | 0.6 | 0.11 | 0.0 | 0.0 | 0.23 |
| NH ₄ ⁺ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.42 |
| HCO ₃ ⁺ | 3 | 0.0 | 7 | 4 | 0.0 |
| SO ₄ ²⁻ | 1.6 | 2.18 | 0.7 | 7.6 | 6.1 |
| Cl ⁻ | 0.2 | 0.57 | 0.8 | 17 | 2.0 |
| NO ₂ ⁻ | 0.02 | 0.0 | 0.0 | 0.02 | 0.0 |
| NO ₃ ⁻ | 0.1 | 0.62 | 0.2 | 0.0 | 2.2 |
| TDS | 4.8 | 0.0 | 8.2 | 38 | 0.0 |
| pH | 5.6 | 0.0 | 6.4 | 5.5 | 4.4 |

Fuente: (Jenkins, 2000) Datos promedio obtenidos de más de 200 muestras de agua lluvia en Estados Unidos y en Bélgica.

Cuadro 3: Concentraciones promedio de iones en el agua lluvia.

| Parámetro | Promedio de análisis de lluvias en cinco localidades | | | | |
|--|--|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| pH | 5.09 | 5.37 | 5.49 | 5.18 | 5.29 |
| Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 7.49 | 4.17 | 4.17 | 4.51 | 0.0 |
| Cl ⁻ (mg/L) | 2.47 | 2.41 | 2.97 | 5.34 | 2.64 |
| Cl (mg/L) | 1.26 | 1.23 | 1.51 | 2.72 | 0.0 |
| NO ³⁻ (mg/L) | 1.90 | 1.66 | 3.45 | 1.3 | 2.4 |
| SO ₄ ²⁻ (mg/L) | 1.56 | 3.81 | 2.68 | 1.98 | 0.47 |
| SO ₄ (mg/L) | 1.44 | 3.5 | 2.46 | 1.82 | 0.0 |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 0.94 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.31 |

Fuente: (SANHUEZA, Eugenio, SANTANA, Magaly, DONOSO, Loreto et al. Química atmosférica en la Gran Sabana III: INCI, oct. 2005, vol. 30, N^o10, p. 618-622)

3. METODOLOGÍA

3.1 MUESTREO DE AGUA

Los procedimientos para muestrear cualquier tipo de agua suelen ser bastante diferentes. En general deben tomarse muestras separadas para los distintos análisis químicos o biológicos debido a que las técnicas de muestreo y conservación difieren significativamente.

Normalmente en todos los muestreos mientras más corto sea el intervalo de tiempo entre la recolección y el análisis los resultados serán más precisos. Las muestras pueden dividirse en dos categorías principales: muestras puntuales y muestras compuestas (Manahan, 2007).

En este estudio se tomaron muestras puntuales, las cuales se recolectaron en un solo instante y en un mismo punto y, por consiguiente, son muy específicas con respecto al tiempo y a la localización (Manahan, 2007).

El muestreo inició el 25 de febrero del 2010 y culminó el 9 de julio del 2010 (6 meses). Se llevaron a cabo jornadas de recolección de muestras durante tres días por mes en ocho locaciones diferentes de la Reserva.

Para la recolección de las muestras de lluvia se utilizó colectores convencionales ubicados en cada punto de muestreo.

3.2 DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

Los puntos seleccionados a criterio, fueron ubicados con la ayuda de un aparato GPS, tomando los sitios más representativos que supondrían niveles importantes de contaminación atmosférica debido a su localización.

Las coordenadas de los puntos de muestreo y su ubicación dentro de la Reserva Biológica Limoncocha es la siguiente:

Cuadro 4: Puntos seleccionados dentro de RBL.

| Número de punto | Código | Descripción de puntos | Coordenadas (UTM) |
|------------------------|---------------|--|-----------------------------------|
| 1 | CPF | Estación Central de Producción (Petroamazonas) | S 00° 22' 37,6" - W 076° 38'06,8" |
| 2 | JB | Plataforma de Reinyección Jivino B | S 00° 23' 43,3" - W 076° 37'25,3" |
| 3 | EU | Estación- UISEK | S 00° 24' 23,4" - W 076° 37'13,8" |
| 4 | JA | Pozo- Plataforma Jivino A (Petroamazonas) | S 00° 24' 49,8" - W 076° 37'37,9" |
| 5 | PP | Puente en Puerto de Palos | S 00° 25' 43,3" - W 076° 37'27,0" |
| 6 | JC | Pozo- Plataforma Jivino C (Petroamazonas) | S 00° 25' 26,4" - W 076° 36'53,1" |
| 7 | PL | Vía Pozo- Laguna (Petroamazonas) | S 00° 24' 29,0" - W 076° 35'47,1" |
| 8 | LL | Laguna de Limoncocha | S 00° 23' 10,4" - W 076° 36'21,0" |

3.2.1 DESCRIPCION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

- 1. CPF:** El punto de muestreo número uno se ubicó a la altura del mechero principal de la Estación Central de Producción, CPF de Petroamazonas. El área de muestreo presenta una vegetación densa y existen viviendas alrededor de ésta.
- 2. Pozo-Plataforma Jivino B:** El punto de muestreo número dos se situó en la vía de acceso a la plataforma petrolera de reinyección de aguas de formación Jivino B. En este punto la vegetación es semidensa.

3. **Estación (UISEK):** El punto de muestreo número tres se ubicó al interior de la Estación de la Universidad SEK (huerto).
4. **Pozo-Plataforma Jivino A:** El punto de muestreo número cuatro se colocó a la entrada de la plataforma petrolera (Petroamazonas) Jivino A. Este punto se halla en un área poblada.
5. **Puente en Puerto de Palos:** El punto de muestreo número cinco se ubicó en el huerto de una vivienda cercana al puente de Puerto de Palos (carretera). La vegetación en este punto es semidensa.
6. **Pozo-Plataforma- Jivino C:** El punto de muestreo número seis se situó al igual que el punto anterior en el huerto de una vivienda cercana al pozo petrolero (Petroamazonas) Jivino C.
7. **Vía Pozo-Laguna:** El punto de muestreo número siete se colocó a la entrada del pozo petrolero Pozo- Laguna (Petroamazonas). Este punto se ubicó en una zona poblada y se encontraba a orillas del Rio Napo.
8. **Laguna de Limoncocha:** El último punto de muestreo se ubicó cerca de un sendero en la Laguna de Limoncocha, en una zona de densa vegetación.

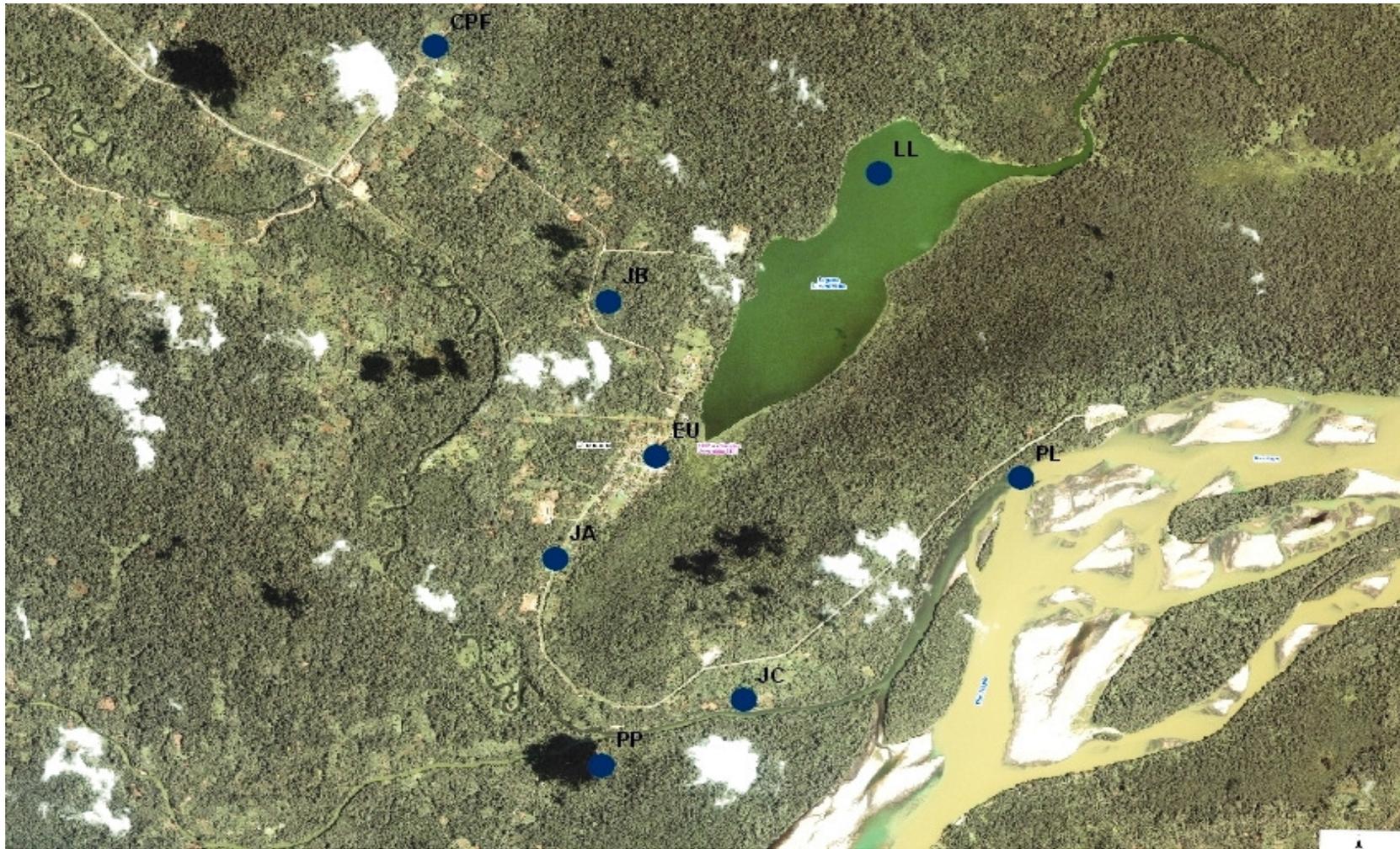


Figura 1: Mapa de ubicación de puntos en la RBL.

3.3 INSTALACIÓN DE MUESTREADORES

Determinados los puntos de muestreo, se procedió a la instalación de los muestreadores.

Se utilizaron muestreadores manuales para la recolección de aguas lluvia, cada muestreador consta de un pedestal de madera de un metro y medio de altura, un embudo grande de plástico de 27 cm de diámetro y una botella de vidrio de aproximadamente cuatro litros.

Los muestreadores se colocaron en áreas despejadas, lejos de obstáculos como árboles, ramas grandes, techos de casas, que dificulten la captación de lluvia por los colectores.



Figura 2: Muestreador manual.



Figura 3: Muestreador manual.

3.4 DISPOSICIÓN DE MUESTRAS DE AGUA LLUVIA PARA EL ANALISIS.

La lluvia recolectada en cada localidad, fue transferida a botellas de plástico de dos litros y preservadas con cloroformo. Se utilizó cloroformo para impedir la proliferación de flora y fauna microbiana dentro de los recipientes de recolección y con esto evitar alteraciones en mediciones posteriores. El cloroformo no afecta la calidad de las lluvias recogidas.



Figura 4: Recipientes plásticos para análisis de muestras.

3.5 PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Se procedió al análisis en el laboratorio de los siguientes parámetros:

Cuadro 5: Parámetros de medición.

| PARÁMETROS | UNIDAD DE MEDICIÓN |
|---------------------------------|--------------------|
| Potencial de hidrógeno (pH) | adimensional |
| Conductividad eléctrica (CE) | $\mu\text{S/cm}$ |
| Sulfatos (SO_4^{2-}) | mg/L |
| Cloruros (Cl^-) | mg/L |
| Nitratos (NO_3^-) | mg/L |
| Amonio (NH_4^+) | mg/L |

3.5.1 Equipos para mediciones específicas

Las mediciones de pH y conductividad se realizaron utilizando un potenciómetro/conductivímetro digital marca Thermo Scientific, modelo Orion 5 star, equipado con un electrodo de vidrio. Para calibrar el equipo se utilizó soluciones tampones de pH de 4,0-7,0-10,0.

La medición de aniones inorgánicos SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- y del ión amonio NH_4^+ se efectuó utilizando el Espectrofotómetro UV- visible HACH 4000.

3.5.2 Medición del ión Sulfato

La medición de la concentración del ión sulfato (SO_4^{2-}) en las aguas recolectadas, se la realizó utilizando el Espectrofotómetro UV- visible. Se usaron celdillas de 25 ml y el reactivo SulfaVer4. La medición de este ión requiere de un blanco (agua destilada) para encerrar y corregir la medición. Una vez usadas las celdillas estas deben ser lavadas con agua destilada para evitar fallas en futuras mediciones debido a la presencia de residuos. Los resultados se obtienen en mg/L de SO_4^{2-} .

3.5.3 Medición del ión Cloruro

Para determinar la concentración del ión cloruro Cl^- en las aguas recolectadas, se utilizó el Espectrofotómetro UV- visible. Para este proceso se usaron celdillas de 25 ml y los siguientes reactivos: Solución de Thiocyanato de Mercurio y Solución de Ión Férrico. El procedimiento requiere la medición de un blanco, en este caso agua destilada, para encerar y corregir la medición. Los resultados se obtienen en ppm (mg/l) de Cl^- .

3.5.4 Medición del ión Nitrato

La medición de la concentración del ión nitrato NO_3^- en las aguas recolectadas, se la realizó utilizando el Espectrofotómetro UV- visible. Para este procedimiento se usaron celdillas de 25 ml y los reactivos: NitraVer 6 y NitriVer3. La medición de este ión requiere de un blanco (agua destilada) para encerar y corregir la medición. Los resultados se obtienen en ppm (mg/l) de NO_3^- .

3.5.5 Medición de ión Amonio

La concentración del ión amonio NH_4^+ en las aguas recolectadas, se determinó utilizando el Espectrofotómetro UV- visible. En este proceso se usaron celdillas de 25 ml y los reactivos: Estabilizador mineral, Dispersante de alcohol polivinílico y Reactivo de Nessler. Este procedimiento de medición requiere de un blanco (agua destilada) para encerar y corregir la medición y los resultados se obtienen en ppm (mg/l) de NH_4^+ .

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

Cuadro 6: Primera Jornada (25/02/2010).

| Punto | Ubicación | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|--------------|------------------|-----------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | CPF | 5,5 | 3,6 | 3,4 | 0,09 | 1,3 | 0,5 |
| 2 | JB | 5,9 | 6,5 | 3,8 | 0,15 | 0,5 | 0,5 |
| 3 | EU | 5,4 | 3,4 | 3,2 | 0,15 | 0,6 | 0,5 |
| 4 | JA | 5,3 | 3,5 | 3,1 | 0,25 | 0,5 | 0,3 |
| 5 | PP | 4,8 | 8,8 | 2,7 | 0,05 | 0,7 | 0,5 |
| 6 | JC | 5,1 | 4,6 | 1,2 | 0,04 | 0,5 | 0,3 |
| 7 | PL | 5,3 | 4,4 | 2,0 | 0,15 | 1,1 | 0,3 |
| 8 | LL | 5,1 | 10,6 | 2,2 | 0,08 | 2,3 | 0,4 |

Cuadro 7: Segunda Jornada (29/03/2010).

| Punto | Ubicación | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|--------------|------------------|-----------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | CPF | 4,8 | 14,4 | 1,0 | 0,07 | 1,1 | 0,2 |
| 2 | JB | 4,6 | 14,9 | 2,6 | 0,08 | 0,5 | 0,3 |
| 3 | EU | 4,7 | 12,7 | 1,4 | 0,09 | 0,7 | 0,4 |
| 4 | JA | 5,2 | 10,8 | 1,3 | 0,11 | 1,43 | 0,3 |
| 5 | PP | 5,4 | 7,1 | 4,1 | 0,10 | 0,6 | 0,3 |
| 6 | JC | 5,8 | 10,7 | 3,8 | 0,06 | 0,7 | 0,3 |
| 7 | PL | * | * | * | * | * | * |
| 8 | LL | 5,5 | 6,2 | 4,9 | 0,10 | 0,5 | 0,2 |

(*).En la segunda jornada de medición, el muestreador del punto 7 (PL) fue sustraído, los valores en este sitio no fueron determinados.

Cuadro 8: Tercera Jornada (24/04/ 2010).

| Punto | Ubicación | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|--------------|------------------|-----------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | CPF | 4,6 | 11,5 | 1,0 | 0,10 | 0,7 | 0,6 |
| 2 | JB | 5,0 | 10,2 | 2,0 | 0,04 | 2,9 | 0,6 |
| 3 | EU | 5,5 | 6,7 | 1,0 | 0,05 | 1,4 | 0,5 |
| 4 | JA | 4,9 | 5,5 | 2,0 | 0,15 | 0,1 | 0,4 |
| 5 | PP | 5,1 | 6,8 | 1,0 | 0,10 | 0,5 | 0,2 |
| 6 | JC | 4,4 | 6,1 | 1,0 | 0,24 | 0,7 | 0,4 |
| 7 | PL | 5,1 | 6,0 | 1,0 | 0,09 | 1,1 | 0,5 |
| 8 | LL | 5,7 | 6,6 | 0,0 | 0,07 | 0,6 | 1,2 |

Cuadro 9: Cuarta Jornada (29/05/2010).

| Punto | Ubicación | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|--------------|------------------|-----------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | CPF | 5,6 | 10,4 | 4,3 | 0,12 | 1,4 | 0,3 |
| 2 | JB | 5,8 | 4,8 | 1,3 | 0,05 | 0,5 | 0,3 |
| 3 | EU | 5,5 | 6,7 | 1,0 | 0,05 | 1,4 | 0,5 |
| 4 | JA | 5,9 | 4,1 | 1,1 | 0,03 | 1,2 | 0,2 |
| 5 | PP | 5,6 | 4,3 | 2,8 | 0,03 | 2,3 | 0,2 |
| 6 | JC | 6,0 | 4,2 | 2,0 | 0,04 | 2,1 | 0,3 |
| 7 | PL | 5,7 | 3,7 | 1,3 | 0,07 | 2,5 | 0,4 |
| 8 | LL | 5,9 | 11,9 | 3,9 | 0,04 | 2,2 | 1,2 |

Cuadro 10: Quinta Jornada (16/06/2010).

| Punto | Ubicación | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|--------------|------------------|-----------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | CPF | 5,4 | 11,4 | 3,8 | 0,03 | 1,1 | 1,3 |
| 2 | JB | 4,5 | 3,4 | 4,6 | 0,06 | 0,4 | 0,5 |
| 3 | EU | 4,5 | 4,4 | 5,0 | 0,09 | 0,2 | 0,9 |
| 4 | JA | 5,0 | 4,7 | 4,4 | 0,03 | 0,8 | 0,2 |
| 5 | PP | 4,3 | 3,9 | 5,5 | 0,08 | 0,3 | 0,0 |
| 6 | JC | 4,2 | 3,6 | 5,3 | 0,04 | 0,7 | 0,0 |
| 7 | PL | 4,2 | 4,3 | 4,3 | 0,05 | 0,6 | 0,3 |
| 8 | LL | 5,2 | 9,4 | 3,4 | 0,05 | 1,0 | 0,2 |

Cuadro 11: Sexta Jornada (09/07/2010).

| Punto | Ubicación | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|--------------|------------------|-----------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | CPF | 5,5 | 6,3 | 1,0 | 0,03 | 1,1 | 0,2 |
| 2 | JB | 5,9 | 3,7 | 2,0 | 0,03 | 0,8 | 0,1 |
| 3 | EU | 5,5 | 4,3 | 1,0 | 0,02 | 0,7 | 0,1 |
| 4 | JA | 5,3 | 4,3 | 1,0 | 0,03 | 0,5 | 0,2 |
| 5 | PP | 6,0 | 2,8 | 2,1 | 0,04 | 0,1 | 0,2 |
| 6 | JC | 5,8 | 3,3 | 1,0 | 0,02 | 0,4 | 0,1 |
| 7 | PL | 5,8 | 2,9 | 1,0 | 0,05 | 0,1 | 0,1 |
| 8 | LL | 5,8 | 12,8 | 2,0 | 0,06 | 0,8 | 0,2 |

4.2 DISCUSIÓN

Cuadro 12: Valores mensuales obtenidos en el punto 1 (CPF).

| Mes de muestreo | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|------------------------|-----------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Febrero | 5,5 | 3,6 | 3,4 | 0,09 | 1,3 | 0,5 |
| Marzo | 4,8 | 14,4 | 1,0 | 0,07 | 1,1 | 0,2 |
| Abril | 4,6 | 11,5 | 1,0 | 0,10 | 0,7 | 0,6 |
| Mayo | 5,6 | 10,4 | 4,3 | 0,12 | 1,4 | 0,3 |
| Junio | 5,4 | 11,4 | 3,8 | 0,03 | 1,1 | 1,3 |
| Julio | 5,5 | 6,3 | 1,0 | 0,03 | 1,1 | 0,2 |
| Promedio | 5,2 | 9,6 | 2,4 | 0,08 | 1,1 | 0,5 |
| Máximo | 5,6 | 14,4 | 4,3 | 0,12 | 1,4 | 1,3 |
| Mínimo | 4,6 | 3,6 | 1,0 | 0,03 | 0,7 | 0,2 |

Cuadro 13: Valores mensuales obtenidos en el punto 2 (JB).

| Mes de muestreo | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|------------------------|-----------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Febrero | 5,9 | 6,5 | 3,8 | 0,15 | 0,5 | 0,5 |
| Marzo | 4,6 | 14,9 | 2,6 | 0,08 | 0,5 | 0,3 |
| Abril | 5,0 | 10,2 | 2,0 | 0,04 | 2,9 | 0,6 |
| Mayo | 5,8 | 4,8 | 1,3 | 0,06 | 0,5 | 0,3 |
| Junio | 4,5 | 3,4 | 4,6 | 0,06 | 0,4 | 0,5 |
| Julio | 5,9 | 3,7 | 2,0 | 0,03 | 0,8 | 0,1 |
| Promedio | 5,3 | 7,2 | 2,7 | 0,07 | 0,9 | 0,4 |
| Máximo | 5,9 | 14,9 | 4,6 | 0,15 | 2,9 | 0,6 |
| Mínimo | 4,5 | 3,4 | 1,3 | 0,03 | 0,4 | 0,1 |

Cuadro 14: Valores mensuales obtenidos en el punto 3 (EU).

| Mes de muestreo | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|-----------------|-----|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Febrero | 5,4 | 3,4 | 3,2 | 0,15 | 0,6 | 0,5 |
| Marzo | 4,7 | 12,7 | 1,4 | 0,09 | 0,7 | 0,4 |
| Abril | 5,5 | 6,7 | 1,0 | 0,05 | 1,4 | 0,5 |
| Mayo | 5,5 | 6,7 | 1,0 | 0,05 | 1,4 | 0,5 |
| Junio | 4,5 | 4,4 | 5,0 | 0,09 | 0,2 | 0,9 |
| Julio | 5,5 | 4,3 | 1,0 | 0,02 | 0,7 | 0,1 |
| Promedio | 5,2 | 6,4 | 2,1 | 0,08 | 0,8 | 0,5 |
| Máximo | 5,5 | 12,7 | 5,0 | 0,15 | 1,4 | 0,9 |
| Mínimo | 4,5 | 3,4 | 1,0 | 0,02 | 0,2 | 0,1 |

Cuadro 15: Valores mensuales obtenidos en el punto 4 (JA).

| Mes de muestreo | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|-----------------|-----|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Febrero | 5,3 | 3,5 | 3,1 | 0,25 | 0,5 | 0,3 |
| Marzo | 5,2 | 10,8 | 1,3 | 0,11 | 1,43 | 0,3 |
| Abril | 4,9 | 5,5 | 2,0 | 0,15 | 0,1 | 0,4 |
| Mayo | 5,9 | 4,1 | 1,1 | 0,03 | 1,2 | 0,2 |
| Junio | 5,0 | 4,7 | 4,4 | 0,03 | 0,8 | 0,2 |
| Julio | 5,3 | 4,3 | 1,0 | 0,03 | 0,5 | 0,2 |
| Promedio | 5,2 | 5,5 | 2,2 | 0,10 | 0,6 | 0,3 |
| Máximo | 5,9 | 10,8 | 4,4 | 0,25 | 1,2 | 0,4 |
| Mínimo | 4,9 | 3,5 | 1,0 | 0,03 | 0,1 | 0,2 |

Cuadro 16: Valores mensuales obtenidos en el punto 5 (PP).

| Mes de muestreo | pH | Conductividad $\mu\text{S/cm}$ | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|-----------------|-----|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Febrero | 4,8 | 8,8 | 2,7 | 0,05 | 0,7 | 0,5 |
| Marzo | 5,4 | 7,1 | 4,1 | 0,10 | 0,6 | 0,3 |
| Abril | 5,1 | 6,8 | 1,0 | 0,10 | 0,5 | 0,2 |
| Mayo | 5,6 | 4,3 | 2,8 | 0,03 | 2,3 | 0,2 |
| Junio | 4,3 | 3,9 | 5,5 | 0,08 | 0,3 | 0,0 |
| Julio | 6,0 | 2,8 | 2,1 | 0,04 | 0,1 | 0,2 |
| Promedio | 5,2 | 5,6 | 3,0 | 0,07 | 0,7 | 0,3 |
| Máximo | 6,0 | 8,8 | 5,5 | 0,10 | 2,3 | 0,5 |
| Mínimo | 4,3 | 2,8 | 1,0 | 0,03 | 0,1 | 0,0 |

Cuadro 17: Valores mensuales obtenidos en el punto 6 (JC).

| Mes de muestreo | pH | Conductividad $\mu\text{S/cm}$ | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|-----------------|-----|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Febrero | 5,1 | 4,6 | 1,2 | 0,04 | 0,5 | 0,3 |
| Marzo | 5,8 | 10,7 | 3,8 | 0,06 | 0,7 | 0,3 |
| Abril | 4,4 | 6,1 | 1,0 | 0,24 | 0,7 | 0,4 |
| Mayo | 6,0 | 4,2 | 2,0 | 0,04 | 2,1 | 0,3 |
| Junio | 4,2 | 3,6 | 5,3 | 0,04 | 0,7 | 0,0 |
| Julio | 5,8 | 3,3 | 1,0 | 0,02 | 0,4 | 0,1 |
| Promedio | 5,2 | 5,4 | 2,4 | 0,07 | 0,9 | 0,2 |
| Máximo | 6,0 | 10,7 | 5,3 | 0,24 | 2,1 | 0,4 |
| Mínimo | 4,2 | 3,3 | 1,0 | 0,02 | 0,4 | 0,0 |

Cuadro 18: Valores mensuales obtenidos en el punto 7 (PL).

| Mes de muestreo | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|-----------------|-----|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Febrero | 5,3 | 4,4 | 2,0 | 0,15 | 1,1 | 0,3 |
| Marzo | * | * | * | * | * | * |
| Abril | 5,1 | 6,0 | 1,0 | 0,09 | 1,1 | 0,5 |
| Mayo | 5,7 | 3,7 | 1,3 | 0,07 | 2,5 | 0,4 |
| Junio | 4,2 | 4,3 | 4,3 | 0,05 | 0,6 | 0,3 |
| Julio | 5,8 | 2,9 | 1,0 | 0,05 | 0,1 | 0,1 |
| Promedio | 5,2 | 4,2 | 1,9 | 0,08 | 1,1 | 0,3 |
| Máximo | 5,8 | 6,0 | 4,3 | 0,15 | 2,5 | 0,5 |
| Mínimo | 4,2 | 2,9 | 1,0 | 0,05 | 0,1 | 0,1 |

(*).En la segunda jornada de medición, el muestreador del punto 7 (PL) fue sustraído, los valores en este punto no fueron determinados.

Cuadro 19: Valores mensuales obtenidos en el punto 8 (LL).

| Mes de muestreo | pH | Conductividad μS/cm | Sulfatos (mg/L) | Nitratos (mg/L) | Cloruros (mg/L) | Amonio (mg/L) |
|-----------------|-----|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Febrero | 5,1 | 10,6 | 2,2 | 0,08 | 2,3 | 0,4 |
| Marzo | 5,5 | 6,2 | 4,9 | 0,10 | 0,5 | 0,2 |
| Abril | 5,7 | 6,6 | 0,0 | 0,07 | 0,6 | 1,2 |
| Mayo | 5,9 | 11,9 | 3,9 | 0,04 | 2,2 | 1,2 |
| Junio | 5,2 | 9,4 | 3,4 | 0,05 | 1,0 | 0,2 |
| Julio | 5,8 | 12,8 | 2,0 | 0,06 | 0,8 | 0,2 |
| Promedio | 5,5 | 9,6 | 2,7 | 0,07 | 1,2 | 0,6 |
| Máximo | 5,9 | 12,8 | 4,9 | 0,10 | 2,3 | 1,2 |
| Mínimo | 5,1 | 6,2 | 0,0 | 0,04 | 0,5 | 0,2 |

4.2.1 pH

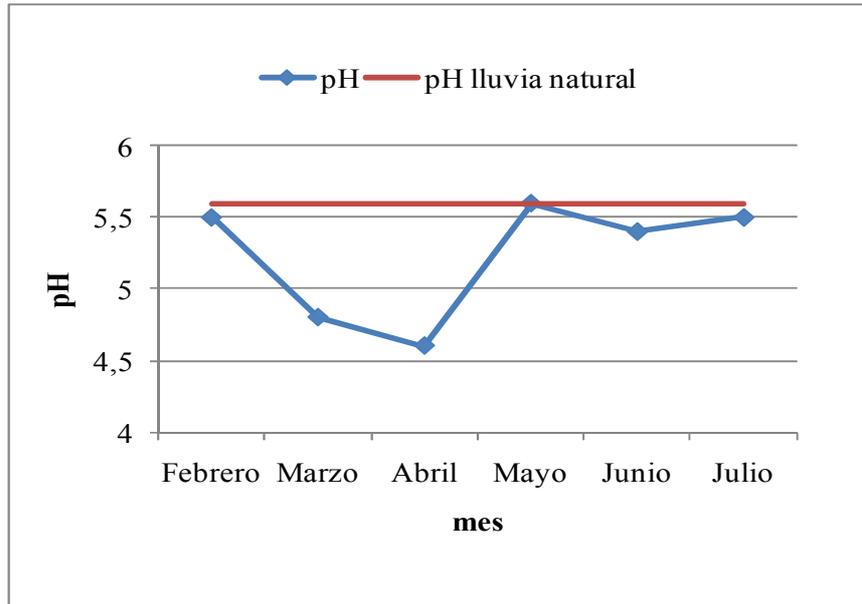


Gráfico 1: Valores mensuales de pH en el punto 1 (CPF).

El gráfico 1 muestra los valores de pH obtenidos en el punto 1 (CPF) durante las seis jornadas de muestreo. El comportamiento del pH en esta zona es variable, en los meses de febrero, mayo, junio y julio se presenta un pH calificado como normal para agua de lluvia, sin embargo, en los meses de marzo y abril se obtuvo pH bajos. En general la acidez registrada en este punto coincide con los valores normales de pH para lluvias.

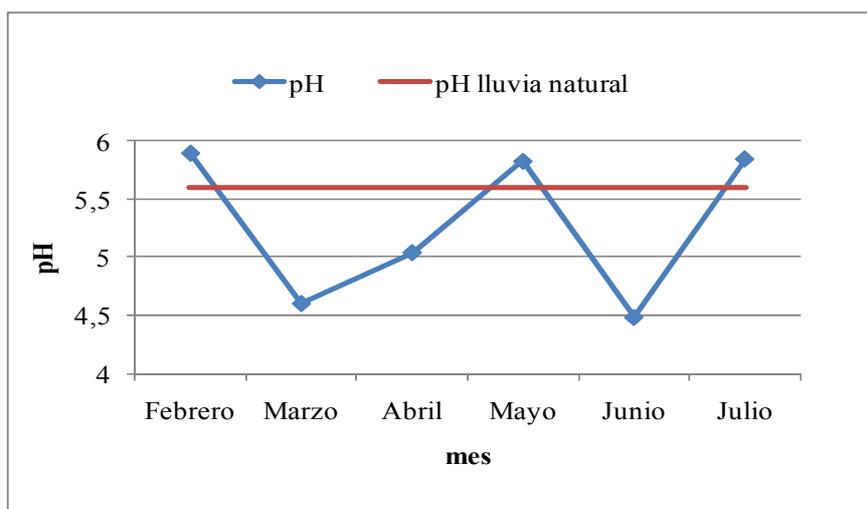


Gráfico 2: Valores mensuales de pH en el punto 2 (JB).

En el gráfico 2 se presenta los valores de pH obtenidos en el punto 2 (JB). En esta zona se registran pH cercanos al pH normal de agua lluvia para los meses de febrero, abril mayo y julio y se obtuvo pH inferiores a 5 para los meses de marzo y junio.

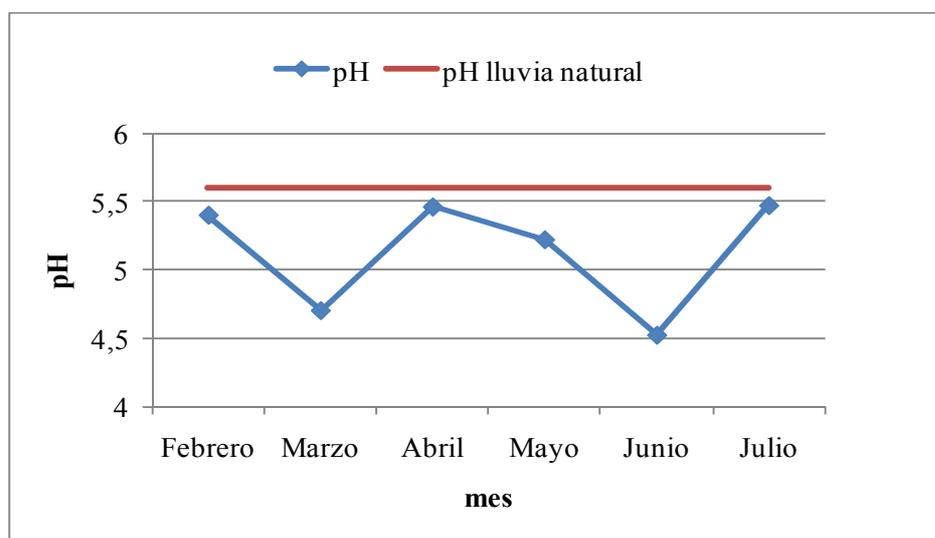


Gráfico 3: Valores mensuales de pH en el punto 3 (EU).

El gráfico anterior muestra los valores mensuales de pH obtenidos en el punto 3 de muestreo (EU). El comportamiento del pH en esta zona no es constante, los meses de febrero, abril, mayo y julio presentan un pH similar al pH normal de agua lluvia. En los meses de marzo y junio se obtuvo pH inferiores a 5.

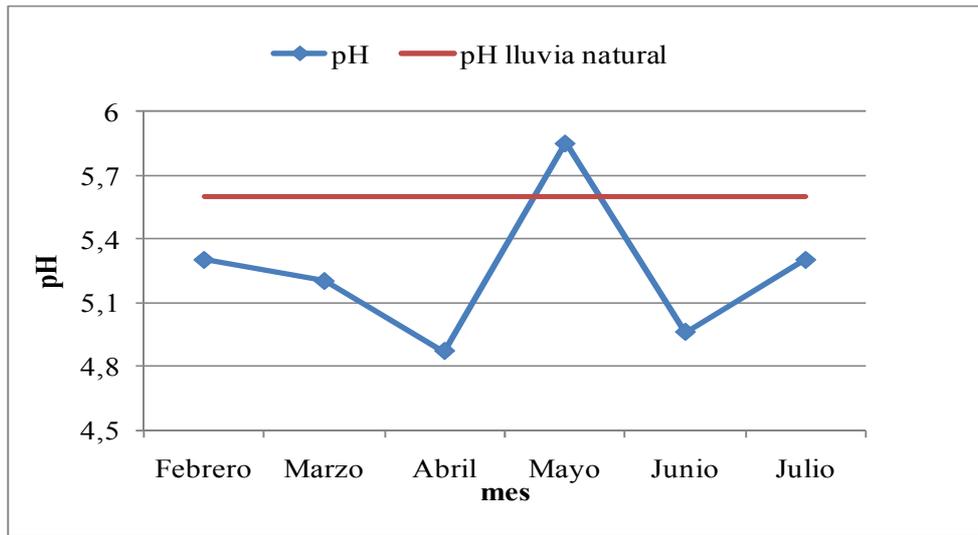


Gráfico 4: Valores mensuales de pH en el punto 4 (JA)

El gráfico 4 presenta los valores de pH obtenidos en el punto 4 de muestreo (JA) durante los períodos de medición. En este sitio se registran pH ligeramente ácidos para los meses de febrero, marzo y julio. En el mes de mayo se presenta un pH normal de agua lluvia y en los meses de abril y junio se obtuvo pH inferiores a 5.

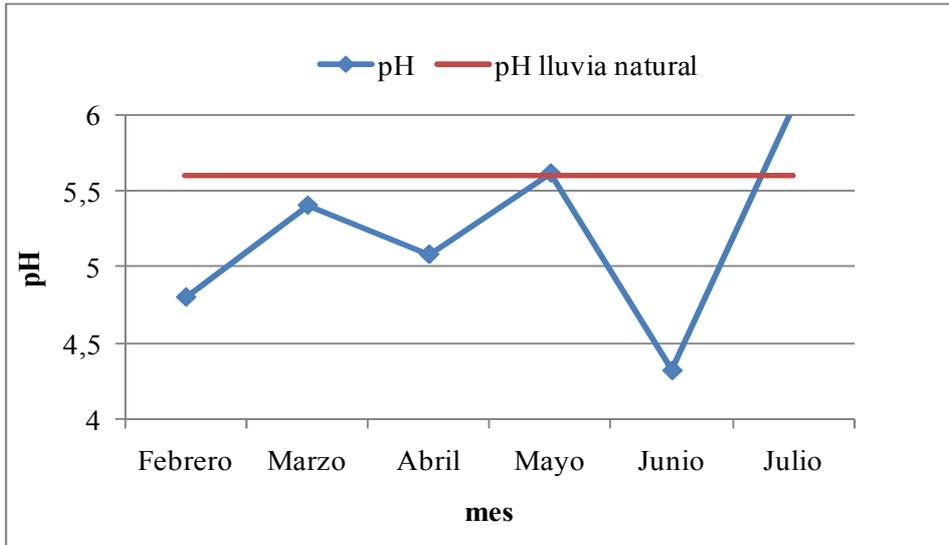


Gráfico: 5 Valores mensuales de pH en el punto 5 (PP).

El gráfico 5 muestra los valores mensuales de pH obtenidos en el punto 5 de muestreo (PP). El comportamiento del pH en este sitio es variable, en los meses de febrero y junio se aprecian pH inferiores a 5, lo que indica la presencia de lluvias ácidas en esta zona. En los meses de marzo, abril y mayo se presentan una ligera acidez probablemente por la presencia de CO₂ atmosférico.

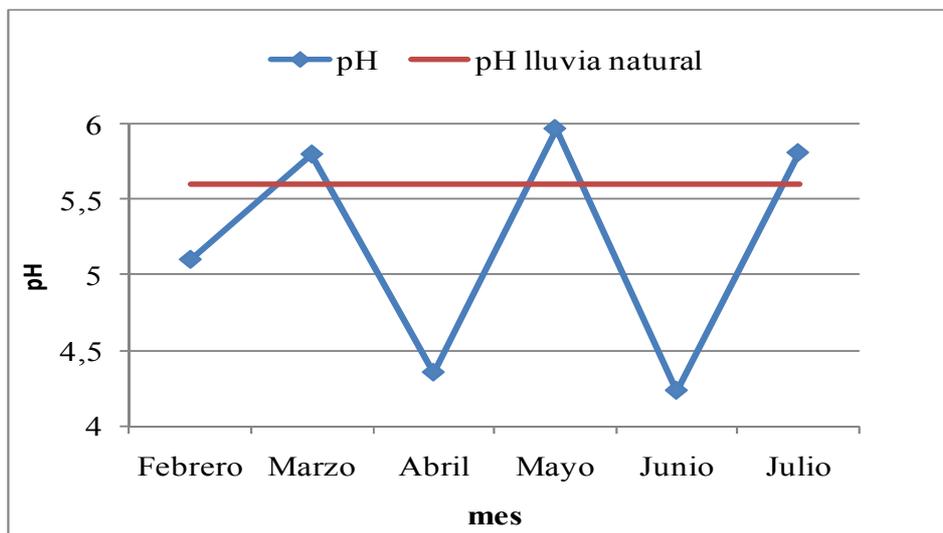


Gráfico 6: Valores mensuales de pH en el punto 6 (JC).

El gráfico que antecede muestra los valores de pH determinados en el punto 6 de muestreo (JC). Se aprecia un comportamiento variable de pH. En los meses de marzo, mayo y julio se presentan un pH normal de agua lluvia. Sin embargo, en los meses de abril y junio se obtuvo un pH muy bajo inferior a 4,5.

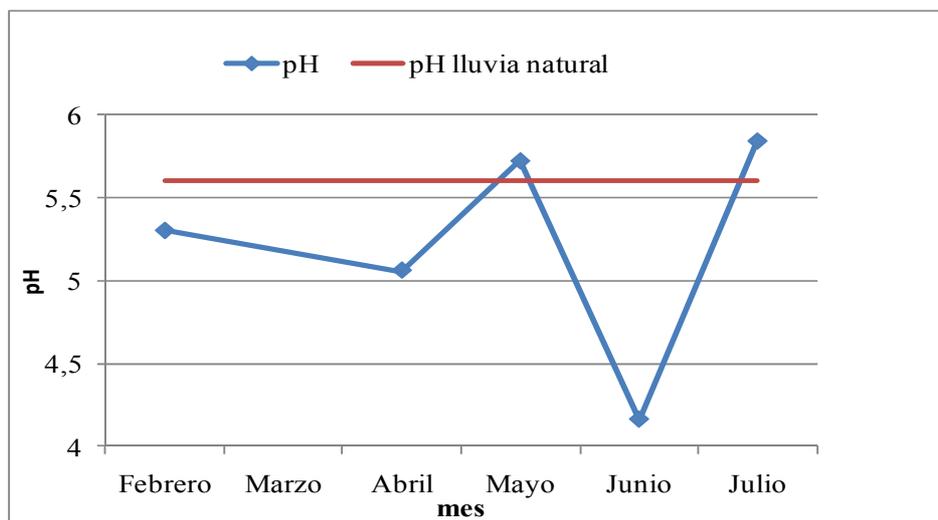


Gráfico 7: Valores mensuales de pH en el punto 7 (PL).

En el gráfico 7 se muestra los valores mensuales de pH obtenidos en el punto de muestreo 7 (PL). El comportamiento del pH en esta área no es constante. Los meses de mayo y julio presentan un pH normal similar al pH de agua lluvia. En febrero y abril se obtuvo un pH ligeramente ácido inferior a 5,6. Y en el mes de junio se determinó un pH inferior a 4,5 lo que sugiere una atmósfera contaminada y presencia de lluvias ácidas en esta zona. En el mes de marzo no se midió pH debido a la pérdida del muestreador.

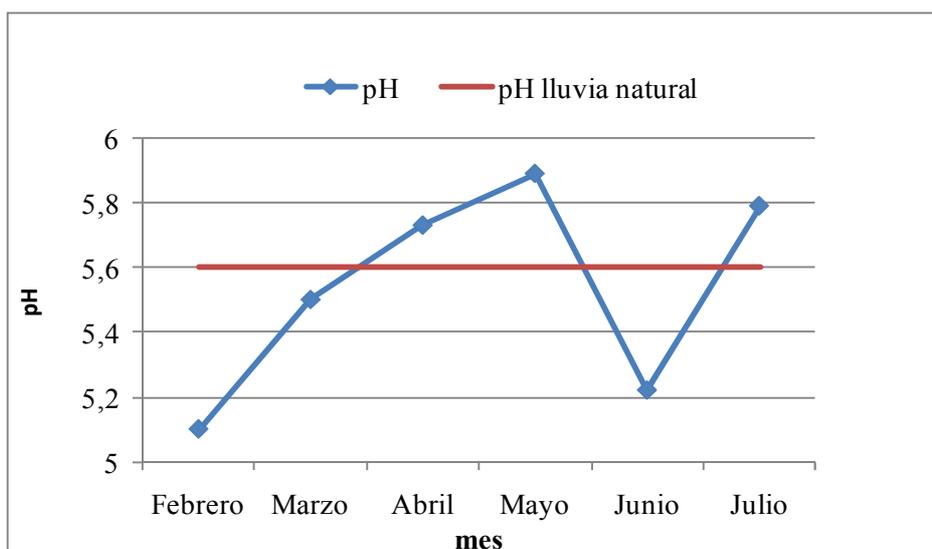


Gráfico 8: Valores mensuales de pH en el punto 8 (LL).

El gráfico anterior muestra los valores de pH obtenidos en el punto 8 (LL) durante las seis jornadas de muestreo. El comportamiento del pH en esta zona es variable, en los meses de marzo, abril, mayo y julio se presenta un pH normal de agua lluvia. En los meses de febrero y junio se obtuvo pH bajos.

Cuadro 20: Resumen de valores estadísticos notables de pH.

| Mes | Promedio | Máximo | Mínimo |
|---------|----------|--------|--------|
| Febrero | 5,3 | 5,9 | 4,8 |
| Marzo | 5,1 | 5,8 | 4,6 |
| Abril | 5 | 5,7 | 4,4 |
| Mayo | 5,7 | 6 | 5,2 |
| Junio | 4,7 | 5,4 | 4,2 |
| Julio | 5,7 | 6 | 5,3 |

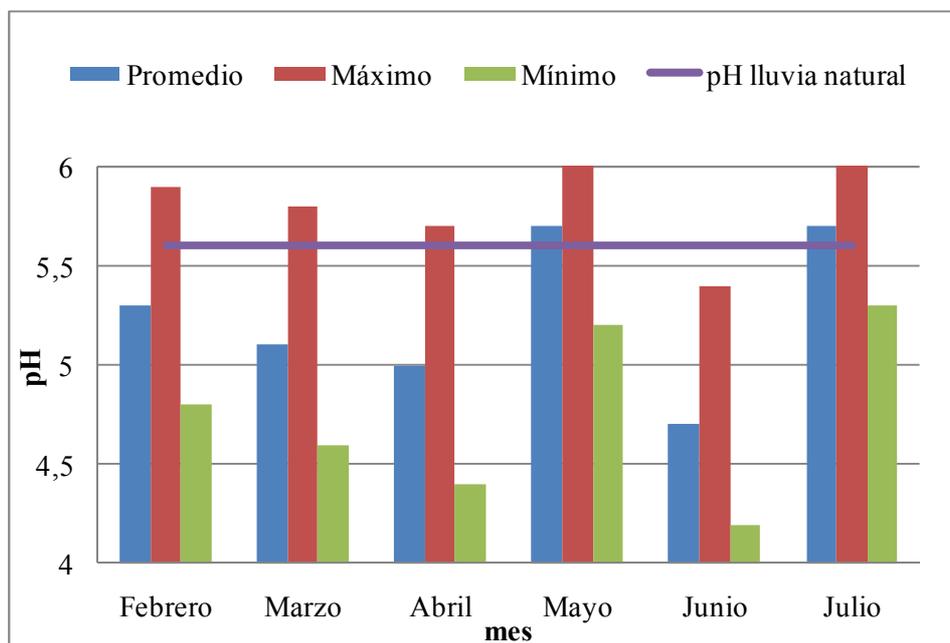


Gráfico 9: Valores estadísticos notables de pH.

El cuadro 20 y el gráfico 9 muestran los valores estadísticos notables de pH durante las seis jornadas de medición. Se observa en la figura 9 que en los meses de mayo y julio los promedios de pH son superiores a 5,6 indicando que las lluvias tuvieron un pH similar al pH de la lluvia natural. En febrero y marzo se presentan una ligera acidez ($\leq 5,6$). En abril y junio los pH son ácidos con valores inferiores a 5. Los valores más altos cercanos a 6 se obtuvieron en febrero, mayo y julio y los más ácidos cercanos a 4 se determinaron en abril y junio.

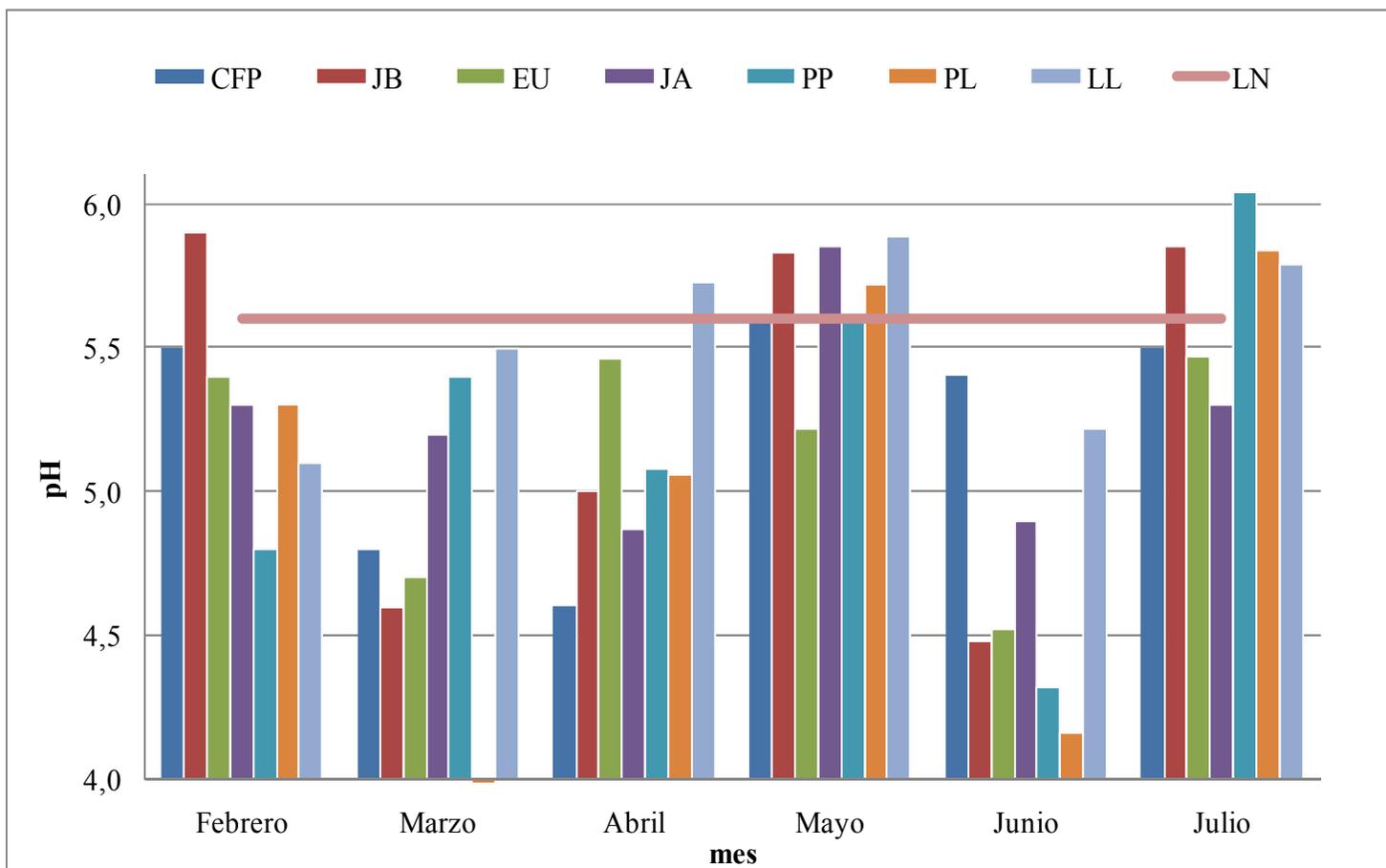


Gráfico 10: Valores mensuales de pH en cada punto de muestreo.

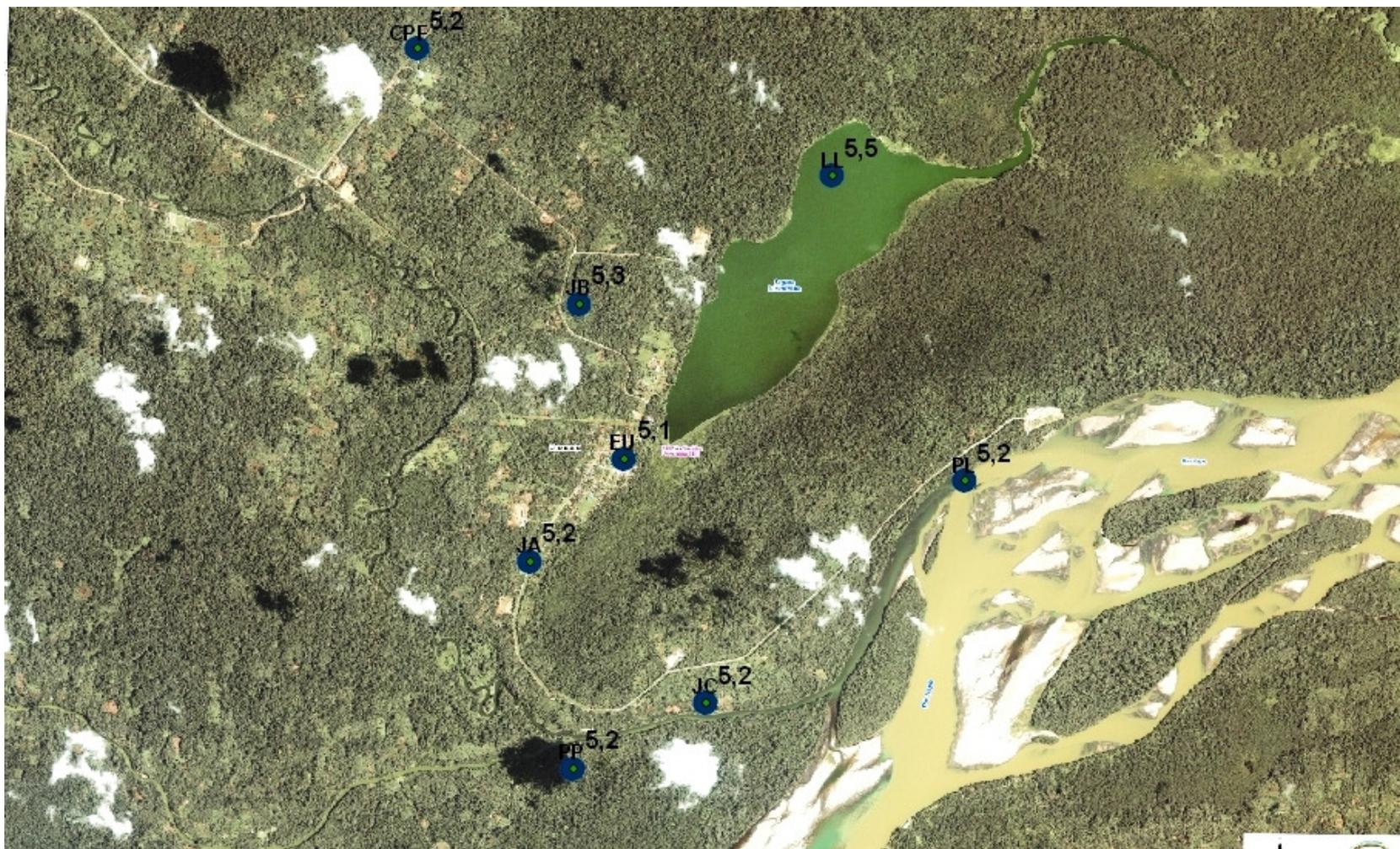


Figura 5: Ubicación en el mapa de promedios de pH en cada punto de muestreo.

4.2.3 Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Cuadro 21: Valores estadísticos notables de Conductividad Eléctrica.

| Mes | Promedio | Máximo | Mínimo |
|---------|----------|--------|--------|
| Febrero | 5,7 | 10,6 | 3,4 |
| Marzo | 9,6 | 14,9 | 6,2 |
| Abril | 7,4 | 11,5 | 5,5 |
| Mayo | 5,9 | 11,9 | 3,7 |
| Junio | 5,6 | 11,4 | 3,4 |
| Julio | 5 | 12,8 | 2,8 |

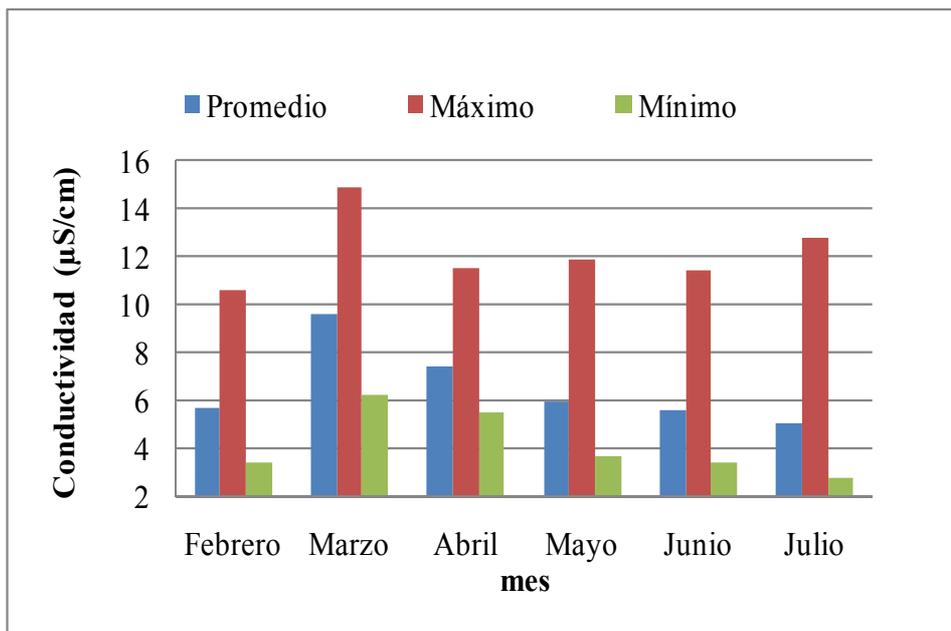


Gráfico 13: Valores estadísticos notables de Conductividad Eléctrica.

El cuadro 21 y el gráfico 13 muestran los valores de conductividad eléctrica, en marzo se obtuvo los valores más altos con un promedio de 9,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los más bajos en julio con un promedio de 5,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores de conductividad registrados durante los seis meses son bajos con datos inferiores a 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica que los iones se encuentran muy diluidos.

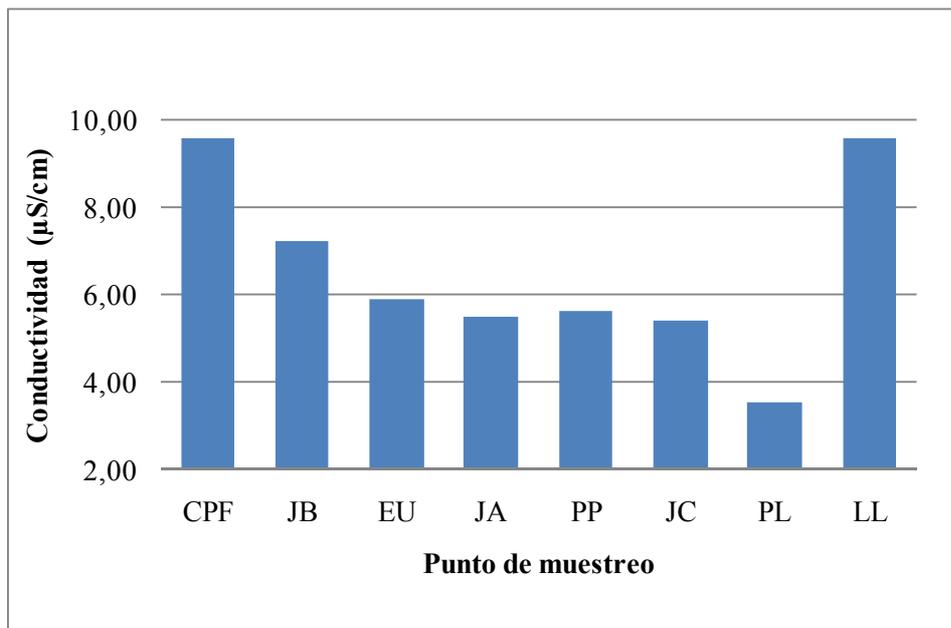


Gráfico14: Promedio de Conductividad Eléctrica en cada punto de muestreo.

En el gráfico que antecede se presenta los promedios de conductividad eléctrica en cada punto de muestreo. En general se registraron valores bajos de conductividad, siendo los promedios más altos en el punto 1 (CPF) y en el punto 8 (LL) con 9,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estos resultados sugieren que en estos sitios existe mayor concentración de iones disueltos. El promedio más bajo de conductividad se registró en el punto 7 (PL) con 3,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

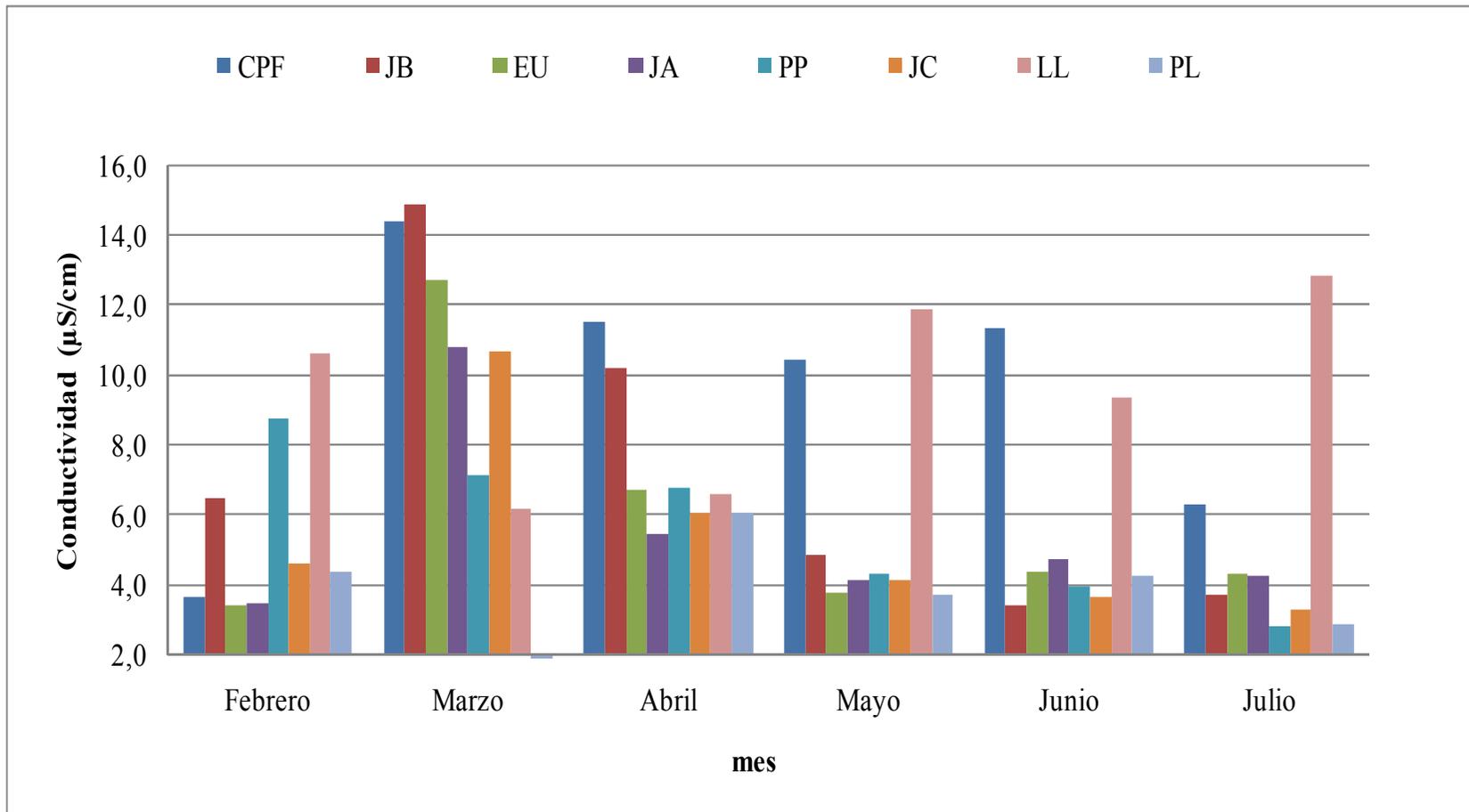


Gráfico 15: Valores mensuales de Conductividad Eléctrica.

4.2.5 Ión Sulfato (SO_4^{2-}) (mg/L)

Cuadro 22: Valores estadísticos notables del Ión Sulfato.

| Mes | Promedio | Máximo | Mínimo |
|---------|----------|--------|--------|
| Febrero | 2,7 | 3,8 | 1,2 |
| Marzo | 2,4 | 4,9 | 1,0 |
| Abril | 1,1 | 2,0 | 0,0 |
| Mayo | 2,4 | 4,3 | 1,1 |
| Junio | 4,5 | 5,5 | 3,4 |
| Julio | 1,4 | 2,1 | 1,0 |

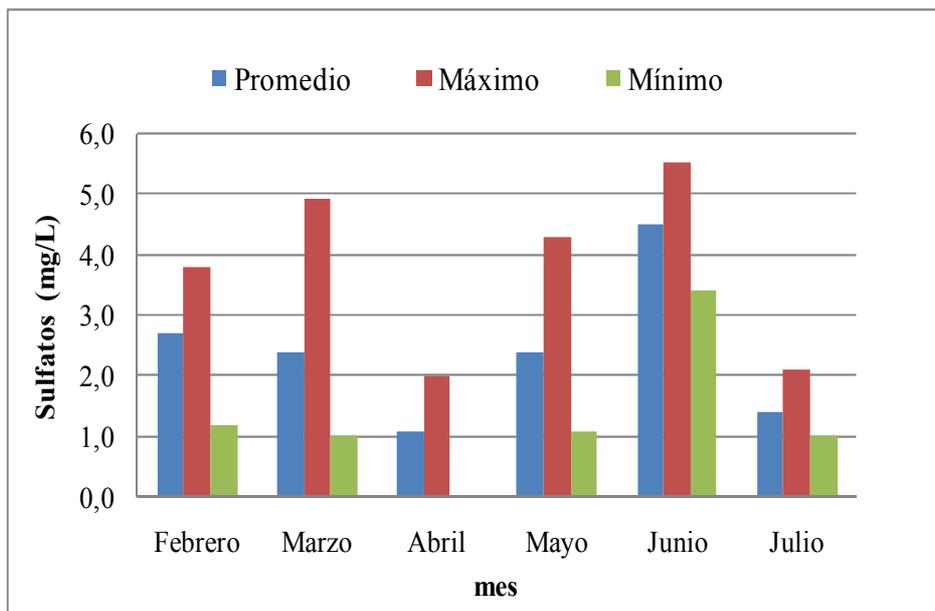


Gráfico 16: Valores estadísticos notables de Sulfatos.

El cuadro 22 y el gráfico 16 presentan los valores estadísticos notables del ión Sulfato medido cada mes. Las concentraciones más altas se registraron en junio con un valor promedio de 4,5 mg/L, y las más bajas en abril con un promedio 1,1 mg/L, los valores máximos y mínimos medidos de este ión se registraron en los mismos meses con 5,5 y 0,0 mg/L respectivamente.

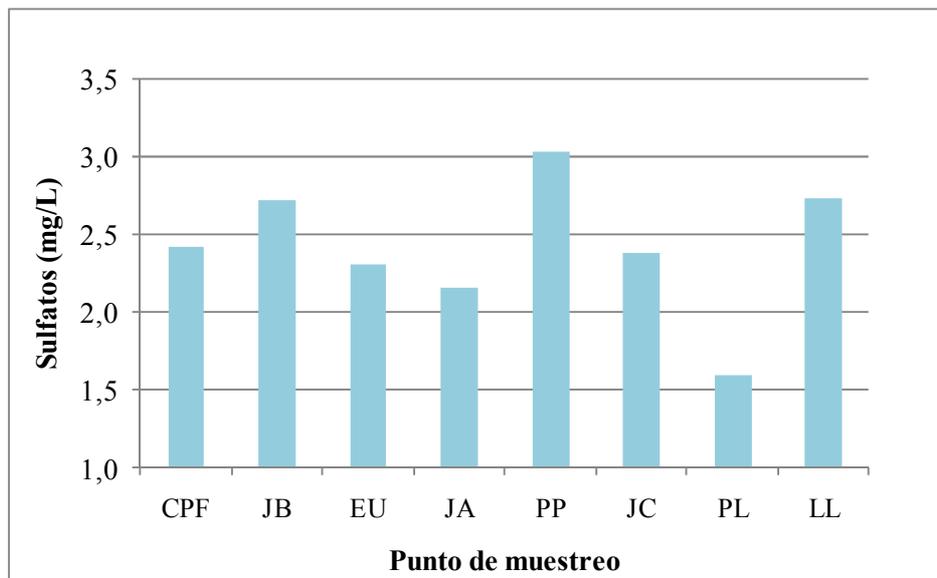


Gráfico 17: Concentración promedio de Sulfatos en cada punto de muestreo.

El gráfico 17 muestra las concentraciones del ión Sulfato en cada punto de muestreo. Las concentraciones más altas registradas pertenecen al punto 5 (PP) con un promedio de 3,0 mg/L y las más bajas se obtuvieron en el punto 7 (PL) con 1,6 mg/L. De acuerdo a la literatura la concentración de este ión está dentro de los rangos normales de Sulfatos para lluvias naturales.

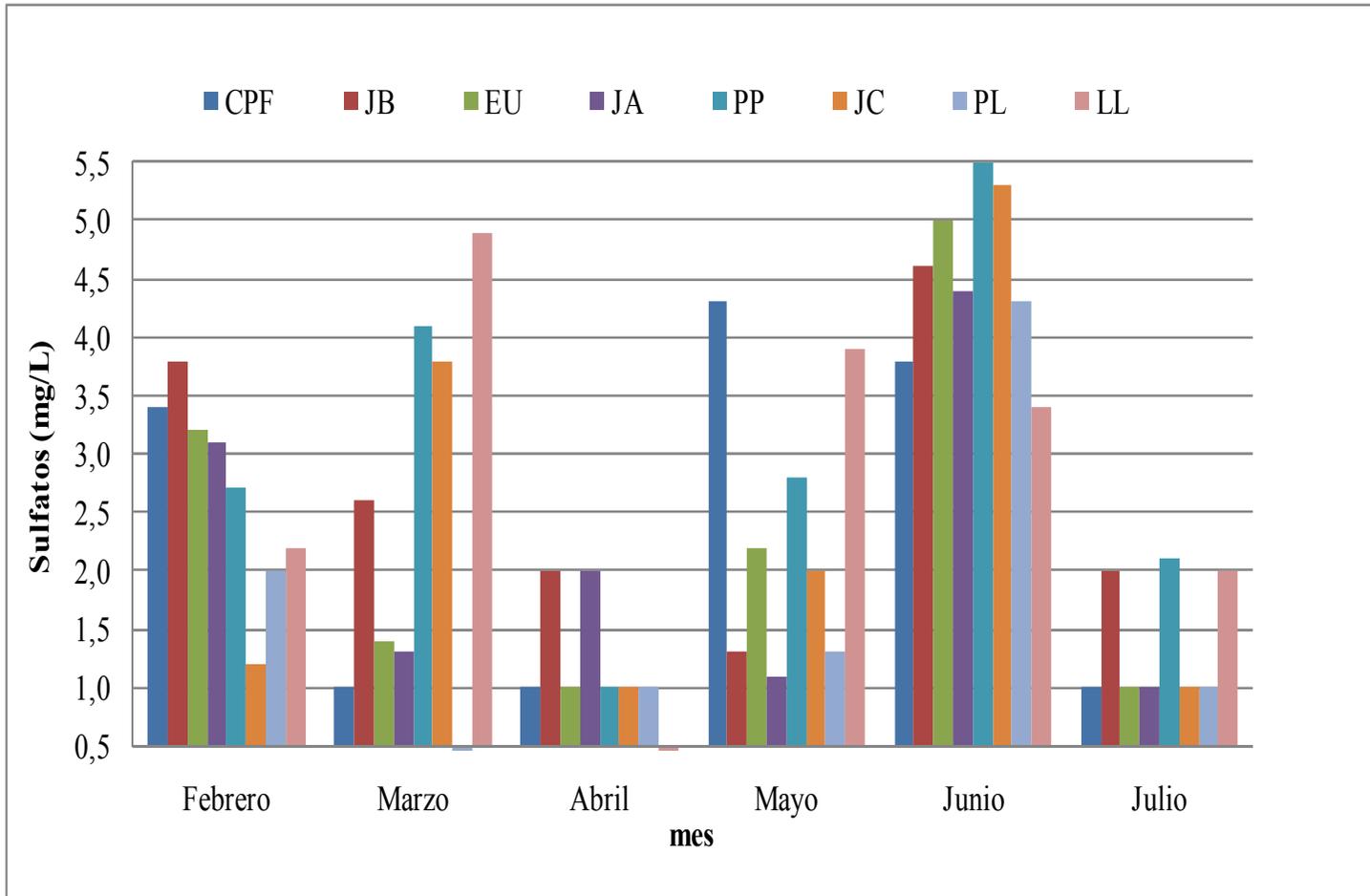


Gráfico 18: Valores mensuales de Sulfatos.

4.2.6 Ión Nitrato (NO₃⁻) (mg/L)

Cuadro 23. Valores estadísticos notables del Ión Nitrato.

| Mes | Media | Máximo | Mínimo |
|---------|-------|--------|--------|
| Febrero | 0,12 | 0,25 | 0,04 |
| Marzo | 0,08 | 0,11 | 0,06 |
| Abril | 0,11 | 0,24 | 0,04 |
| Mayo | 0,05 | 0,12 | 0,03 |
| Junio | 0,05 | 0,09 | 0,03 |
| Julio | 0,04 | 0,06 | 0,02 |

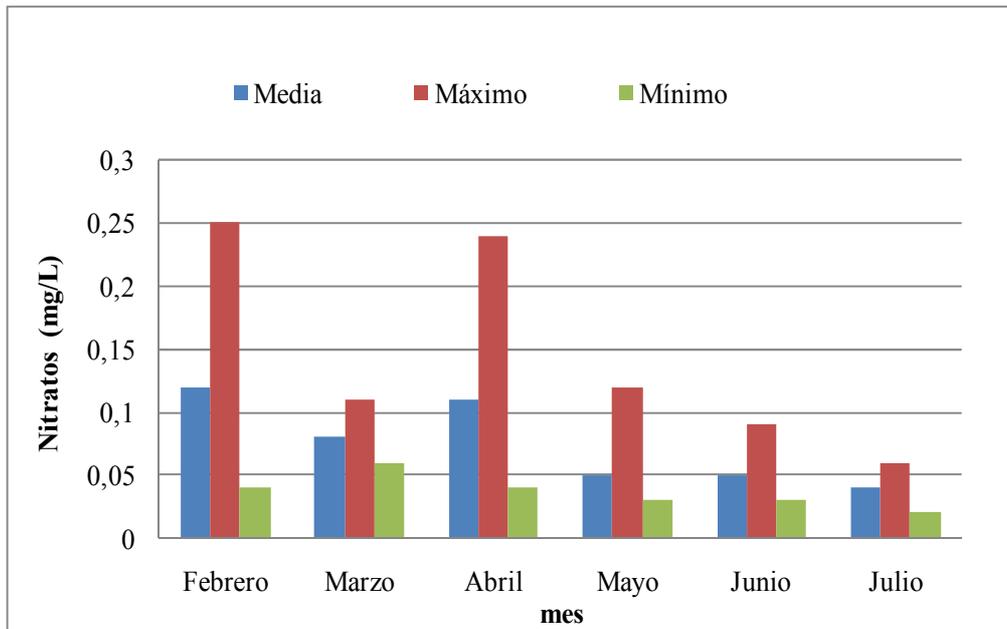


Gráfico 19: Valores estadísticos notables de Nitratos.

El cuadro 23 y el gráfico 19 presentan los valores estadísticos notables de Nitratos medidos en las lluvias. Las concentraciones más altas de este ión se registran en el mes de febrero y abril con un valor promedio de 0,12 y 0,11 mg/L respectivamente y las más bajas en el mes de julio con un promedio 0,04 mg/L; los valores máximos y mínimos medidos de este ión se registraron en los mismos meses.

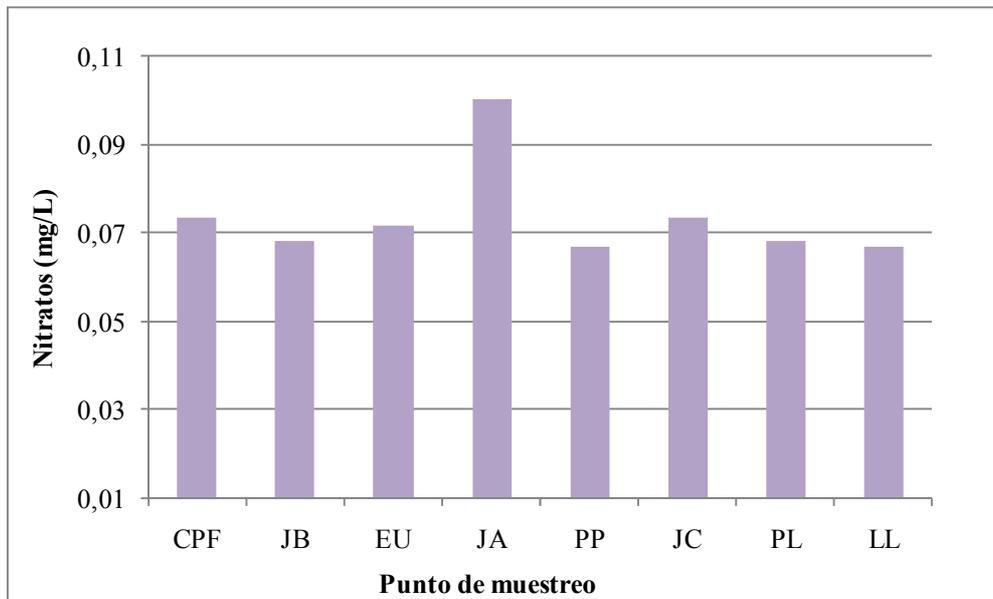


Gráfico 20: Concentración promedio de Nitratos en cada punto de muestreo.

En el gráfico 20 se presenta los valores promedios de Nitrato en cada sitio de muestreo. La mayor concentración de este ión se obtuvo en el punto 4 (JA) con un valor promedio de 0,10 mg/L y la más baja en los puntos PP y PL con un valor promedio de 0,06 mg/L. Las bajas concentraciones de este ión indican que se halla muy diluido.

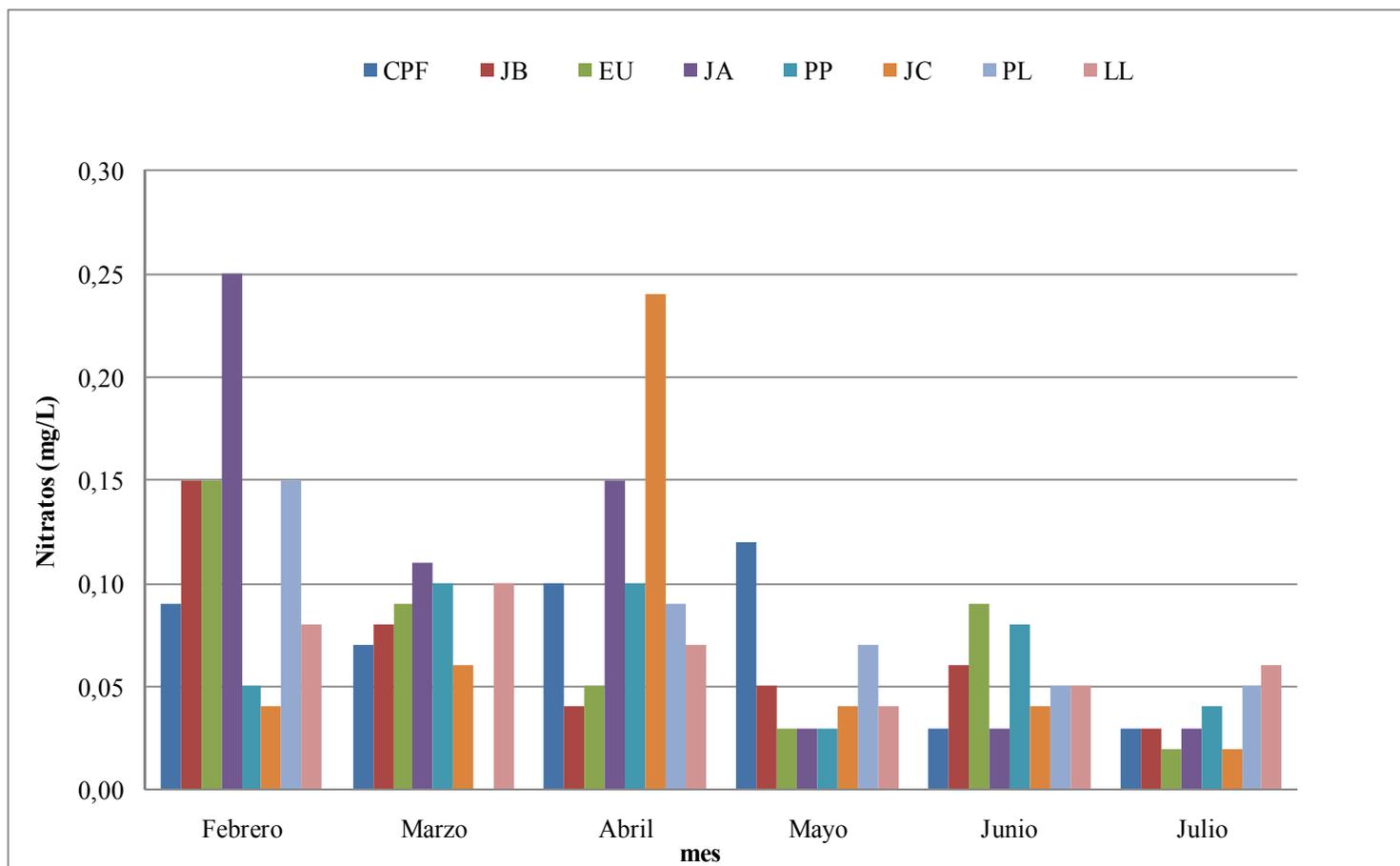


Gráfico 21: Valores mensuales de Nitratos.

4.2.7 Ión Cloruro (Cl⁻) (mg/L)

Cuadro 24. Valores estadísticos notables del Ión Cloruro.

| Mes | Promedio | Máximo | Mínimo |
|---------|----------|--------|--------|
| Febrero | 0,9 | 2,3 | 0,5 |
| Marzo | 0,7 | 1,4 | 0,5 |
| Abril | 1 | 2,9 | 0,1 |
| Mayo | 1,6 | 2,5 | 0,5 |
| Junio | 0,6 | 1,1 | 0,2 |
| Julio | 0,6 | 1,1 | 0,1 |

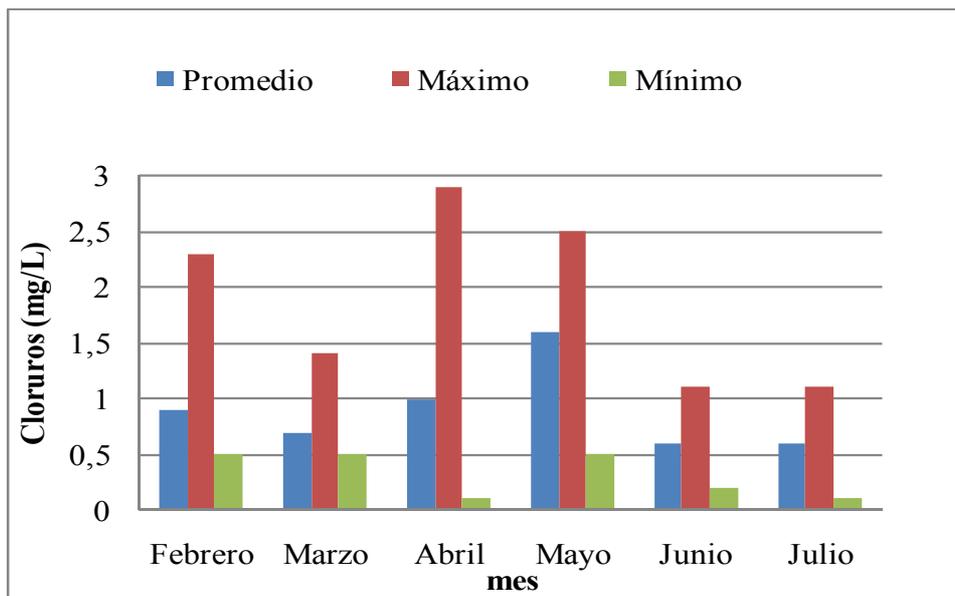


Gráfico 22: Valores estadísticos notables de Cloruros.

El cuadro 24 y el gráfico 22 muestran los valores estadísticos notables del ión Cloruro para cada jornada de medición. Las concentraciones más altas de este ión se obtuvieron en el mes de abril con un valor promedio de 1,0 mg/L y las más bajas en el mes de julio con 0,6 mg/L. El valor más alto registrado es 2,9 mg/L obtenido en abril y el más bajo es 0,1 mg/L obtenido en julio. De acuerdo a la literatura estos valores se encuentran entre los rangos normales de concentración de cloruros para agua lluvia.

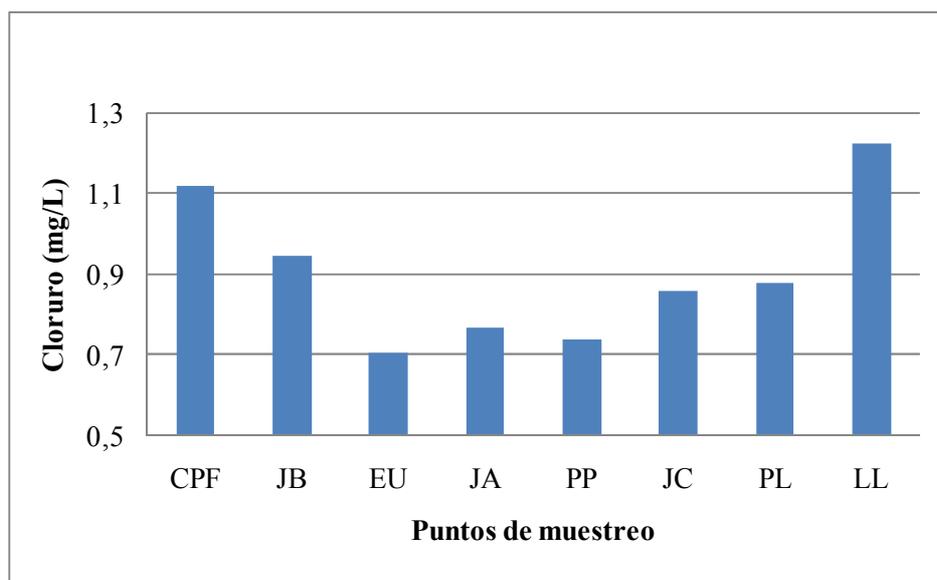


Gráfico 23: Concentración promedio de Cloruros en cada punto de muestreo.

En el gráfico 23 se presentan los valores promedios del ión Cloruro medido en cada punto de muestreo. La mayor concentración de este ión se registra en el punto 1 (CPF) y en el punto 8 (LL) con un valor promedio de 1,1 mg/L y 1,2 mg/L respectivamente, Los valores más bajos registrados fueron los obtenidos en el punto 3 (EU) con 0,7 mg/L.

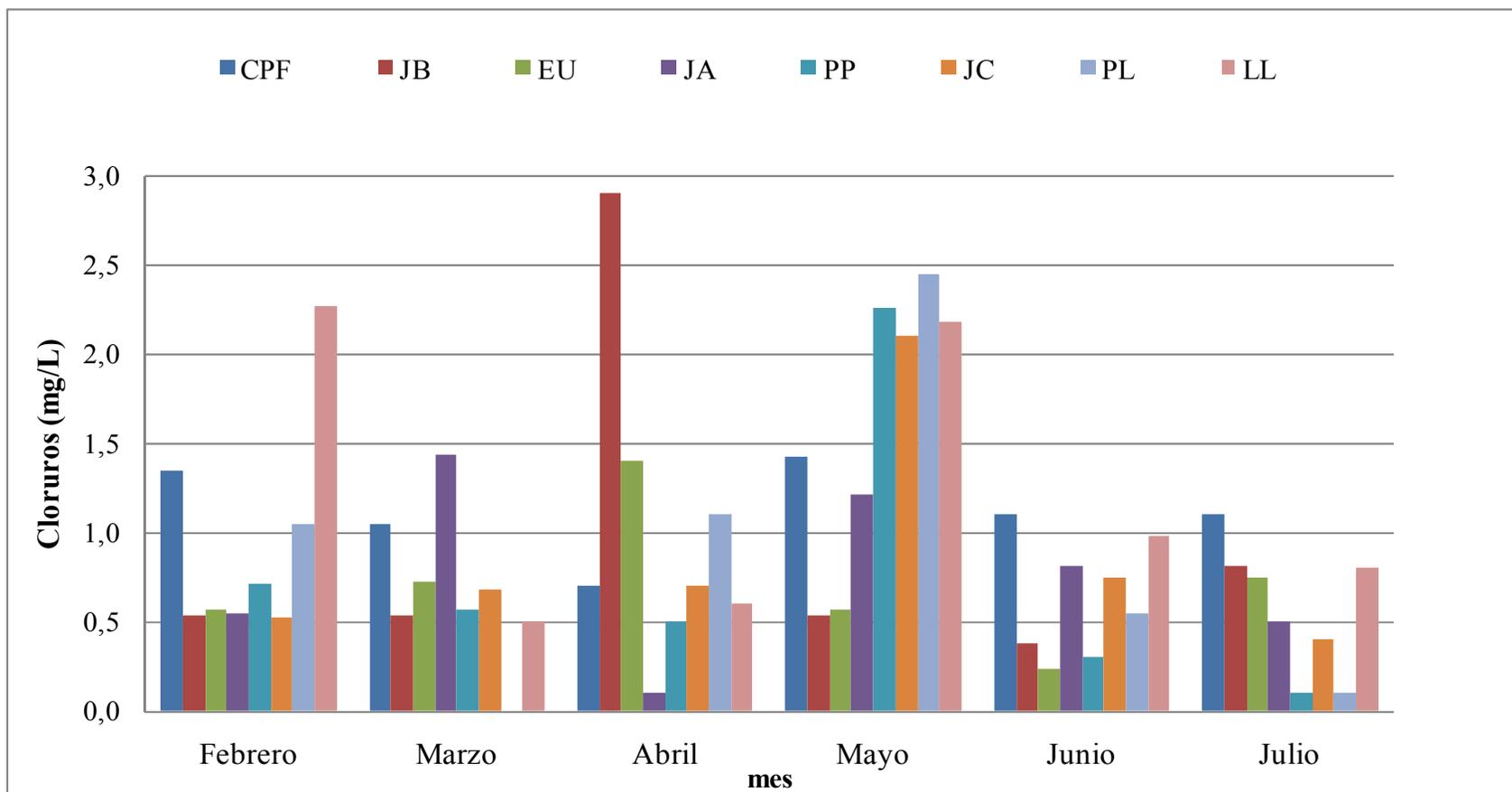


Gráfico 24: Valores mensuales de Cloruros.

4.2.8 Ión Amonio (NH₄⁺) (mg/L)

Cuadro25: Valores estadísticos notables del Ión Amonio.

| Mes | Promedio | Máximo | Mínimo |
|---------|----------|--------|--------|
| Febrero | 0,4 | 0,5 | 0,3 |
| Marzo | 0,3 | 0,4 | 0,2 |
| Abril | 0,5 | 1,2 | 0,2 |
| Mayo | 0,3 | 0,4 | 0,2 |
| Junio | 0,4 | 1,3 | 0,0 |
| Julio | 0,2 | 0,2 | 0,1 |

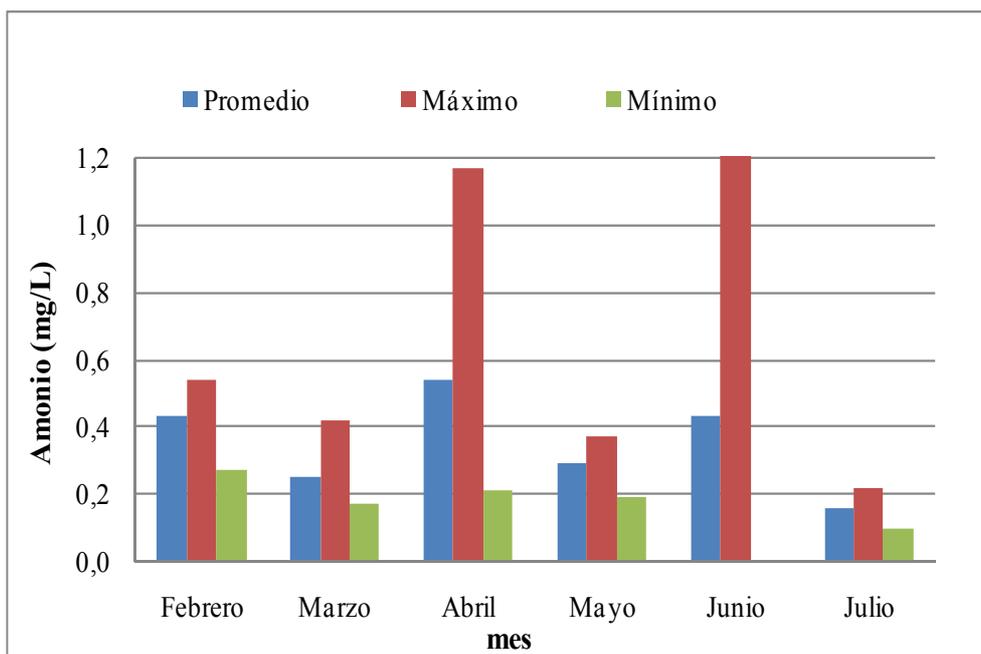


Gráfico 25: Valores estadísticos notables de Amonio.

En el cuadro y gráfico 25 se presentan los valores estadísticos notables del catión Amonio de cada medición. Las mayores concentraciones se obtuvieron en abril con un valor promedio de 0,5 mg/L y las más bajas en julio con un valor promedio de 0,2 mg/L. Los valores medidos de ión Amonio se encuentran dentro del rango normal de concentración para agua lluvia, lo cual indica una baja concentración de NH_3 en la atmósfera.

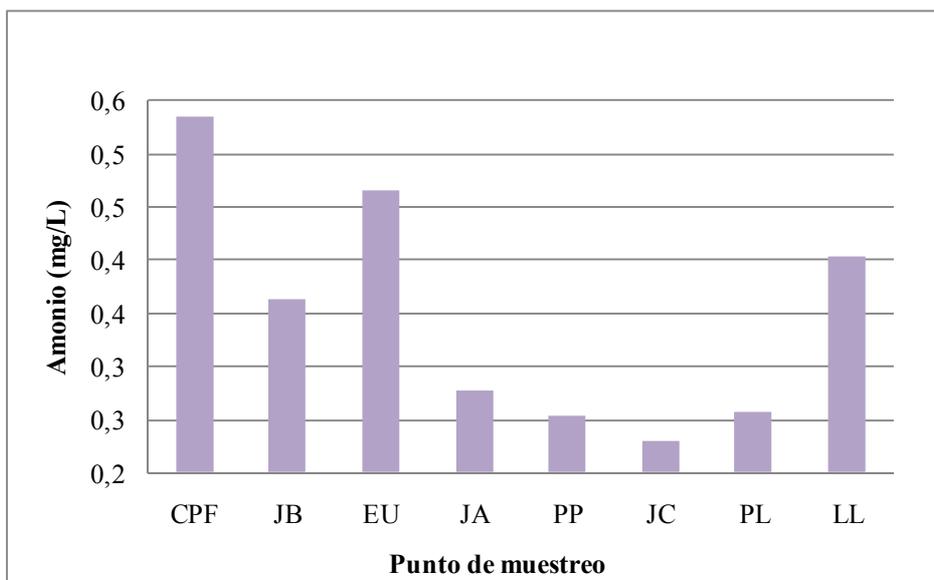


Gráfico 26: Concentración promedio de Amonio en cada punto de muestreo.

En el gráfico 26 se presentan los valores promedio del ión Amonio en cada punto de muestreo. Las concentraciones más altas se registraron en el punto 1 (CPF) con un valor promedio de 0,5 mg/L y las más bajas en el punto 6 (JC) con un valor promedio de 0,2 mg/L.

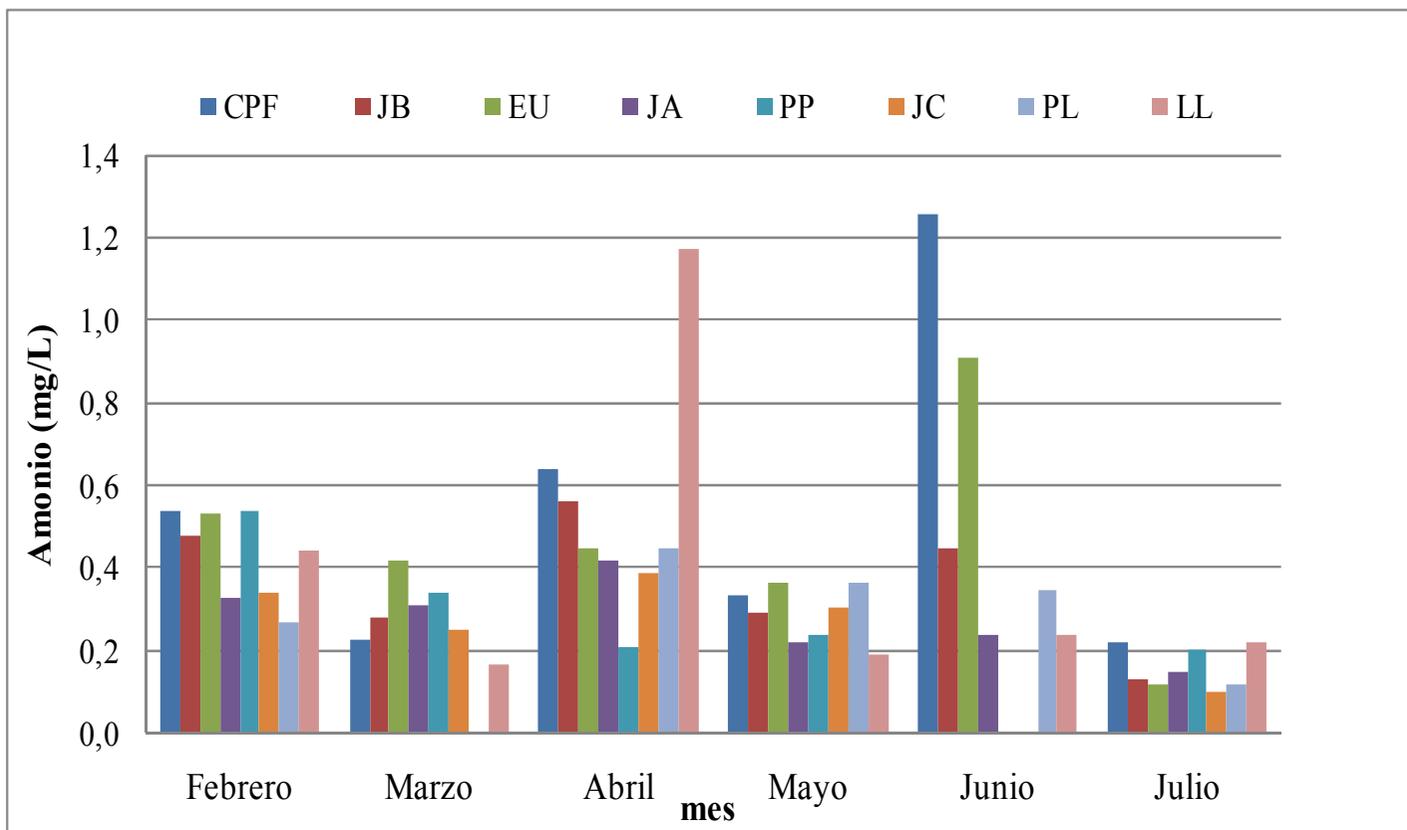


Gráfico 27: Valores mensuales de Amonio.

4.3 CORRELACIÓN DE DATOS

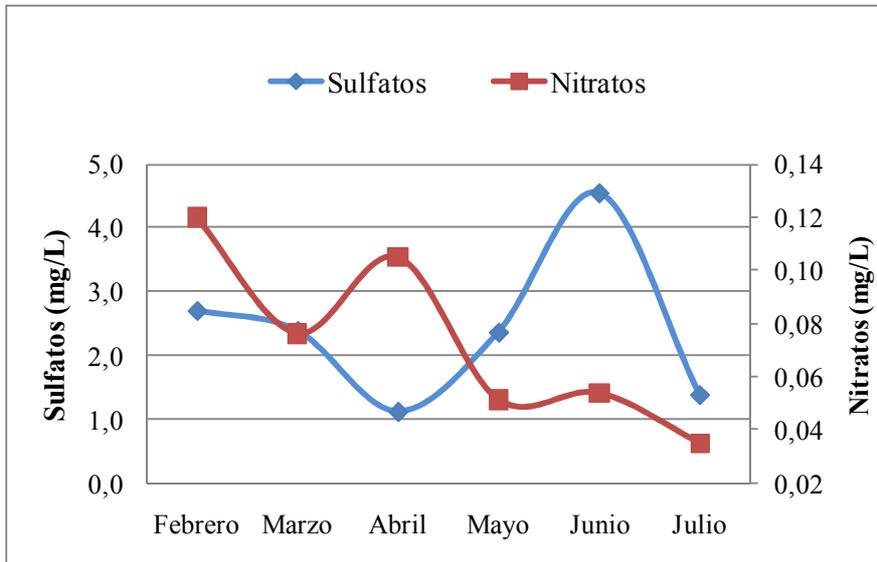


Gráfico 28: Correlación entre las concentraciones de Sulfatos y Nitratos.

El gráfico 28 muestra la comparación entre la concentración de sulfatos y nitratos en las lluvias recolectadas, no existe una clara correlación entre estos iones, aunque ambos proceden de actividad biogénica y deberían estar correlacionados.

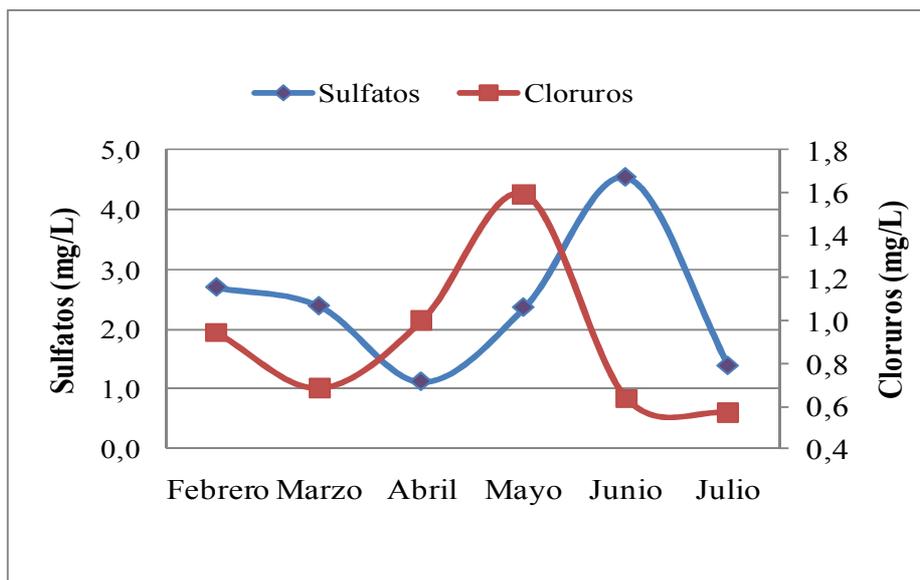


Gráfico 29: Correlación entre las concentraciones de Sulfatos y Cloruros.

El gráfico 29 muestra que no existe una notable correlación entre la concentración de Sulfatos y Cloruros medidos en las lluvias recolectadas debido a que el ión cloruro puede ser aportado por más de dos fuentes.

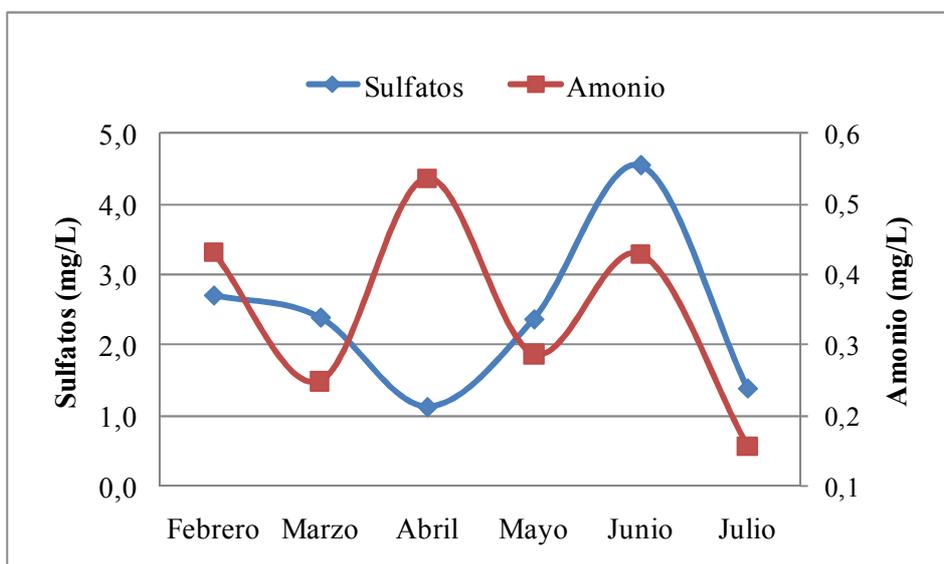


Gráfico 30: Correlación entre las concentraciones de Sulfatos y Amonio.

El gráfico 30 muestra que no existe correlación apreciable entre la concentración de Sulfatos y Amonio medidos en las lluvias.

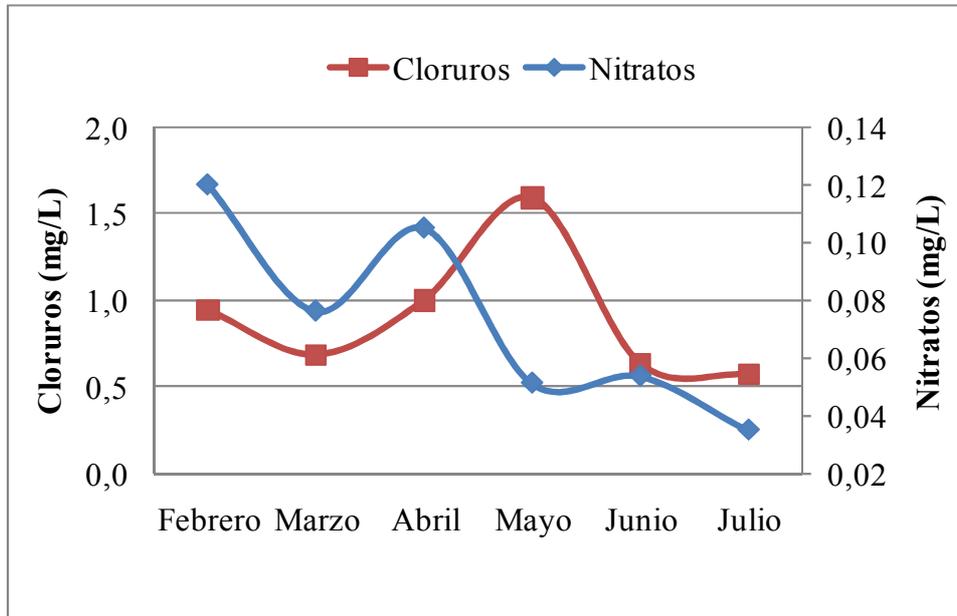


Gráfico 31: Correlación entre las concentraciones de Cloruros y Nitratos.

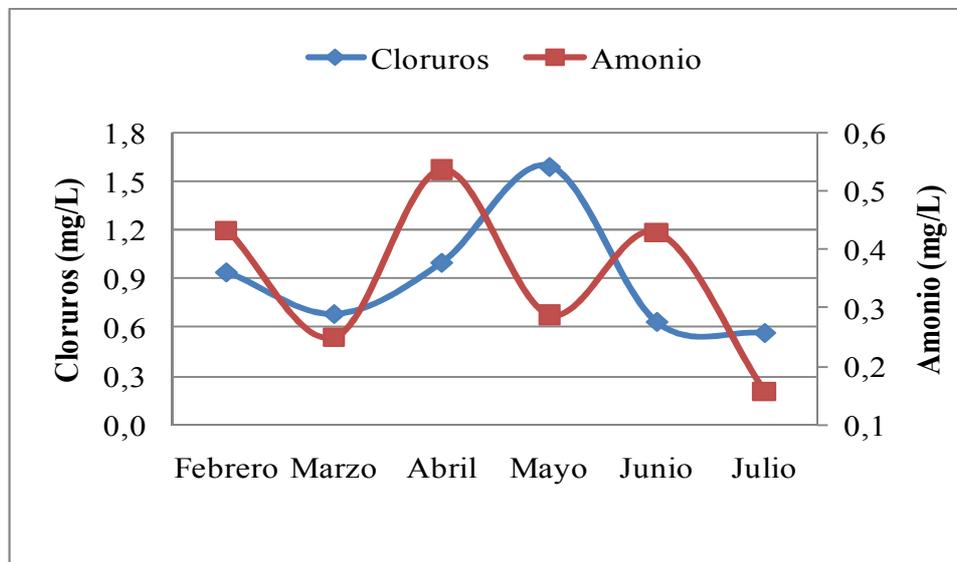


Gráfico 32: Correlación entre las concentraciones de Cloruros y Amonio.

Los gráficos 31 y 32 muestran que no existe una correlación clara entre las concentraciones de Cloruros y Nitratos y las concentraciones de Cloruros y Amonio en las lluvias.

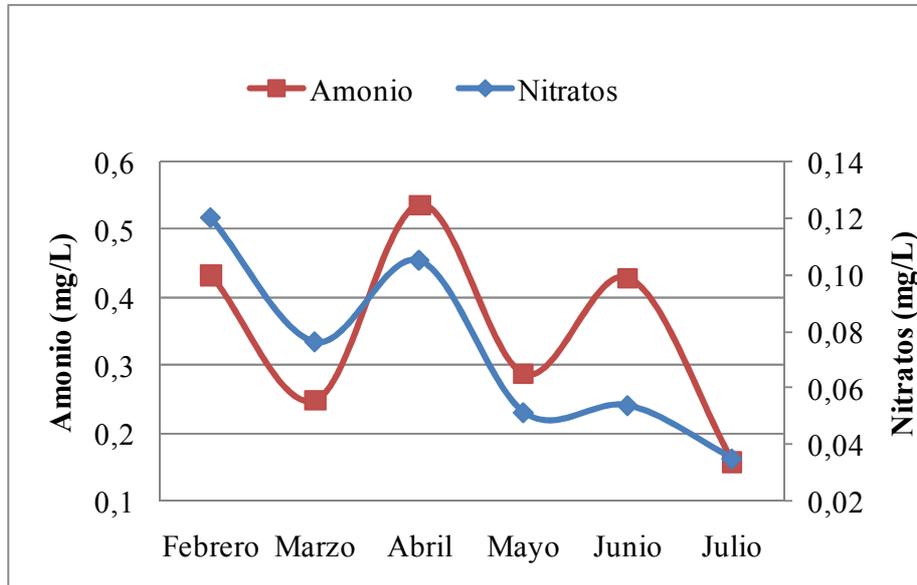


Gráfico 33: Correlación entre las concentraciones de Amonio y Nitratos.

En el gráfico 33 se aprecia una buena correlación entre los iones Amonio y Nitrato, esto resulta lógico debido a que el ión Nitrato en medio reductor forma Amoníaco que en la atmósfera da paso a la formación del ión Amonio mediante reacciones con ácidos fuertes.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. La gran variación en cuanto a los valores y concentraciones de los parámetros medidos en este estudio, no permite establecer una caracterización correcta de la calidad del agua lluvia recolectada en la RBL.
2. Las bajas concentraciones de los iones nitrato, amonio y sulfatos indican que la Reserva Biológica está siendo muy poco afectada por las emisiones antrópicas (actividad petroleras dentro de la Reserva y circulación vehicular). Las concentraciones de sulfatos y nitratos se deben probablemente a las emisiones naturales de precursores emitidos a la atmósfera, especialmente la actividad biológica producida por la descomposición de materia orgánica y procesos bacterianos.
3. El valor promedio del pH de las lluvias en la Reserva Biológica Limoncocha es de 5,2 lo cual indica que la atmósfera es ligeramente ácida. Las bajas concentración de los aniones inorgánicos y de acuerdo al estudio base realizado por Sanhueza, se sugiere que los valores ácidos de pH obtenidos se deben principalmente a la presencia en la atmósfera de compuestos orgánicos como el ácido acético y el ácido fórmico provenientes de la oxidación de materia orgánica y emisiones biogénicas.
4. A excepción del punto 8 (LL), los valores obtenidos de pH en los diferentes puntos de muestreo muestran que en estas zonas se producen lluvias ácidas con pH menores a 5.6, lo cual sugiere la presencia en la atmósfera de ácidos orgánicos e inorgánicos procedentes principalmente de emisiones naturales de compuestos químicos tipo isopreno y por emisiones antrópicas procedentes de las petroleras cercanas y de áreas pobladas.
5. Los valores de pH obtenidos en el punto 8 (LL) indican que en esta zona también se generan lluvias ácidas y sugieren la presencia de compuestos químicos de origen biogénico en la atmosfera.

6. Las bajas concentraciones de nitratos obtenidos en las lluvias sugieren que las zonas de muestreo están siendo poco afectadas por compuestos de nitrógeno emitidos a la atmósfera.
7. Las bajas concentraciones del catión amonio sugieren una limitada emisión de gas amoníaco procedente de ecosistemas y de la descomposición de materia orgánica y una mínima formación de compuestos o sales de amonio en la atmósfera. En la Reserva la ganadería es prácticamente inexistente.
8. Los bajos valores de conductividad eléctrica sugieren que los iones están muy diluidos, lo cual coincide con la composición natural del agua lluvia.
9. Las bajas concentraciones del ión cloruro provendrían posiblemente de partículas que han sido arrastradas y transportadas en la atmósfera por oxidación de compuestos clorocarbonados.
10. Al evaluar las condiciones ácido básicas de las lluvias y los valores medidos de los aniones inorgánicos SO_4^{2-} , NO_3^- y Cl^- y del catión NH_4^+ , se puede concluir que la composición de estas lluvias no presenta concentraciones elevadas que puedan afectar a los ecosistemas de la Reserva, ni afectar la salud y bienestar de las comunidades que en ella habitan.
11. La composición iónica de las lluvias de la Reserva Biológica Limoncocha presenta concentraciones que están dentro de los rangos normales establecidos para lluvias naturales, es decir, la calidad de estas aguas no está siendo afectada por actividades antropogénicas desarrolladas dentro de la Reserva.
12. Una mayor concentración de sulfatos, nitratos y cloruros significaría valores pH más ácidos. Los valores de pH obtenidos en este estudio sugieren la presencia de compuestos ácidos orgánicos e inorgánicos en la atmósfera.

La presencia del catión NH_4^+ supondría un proceso de neutralización de ácidos, lo cual generaría un aumento en el pH de las precipitaciones, sin embargo, la actividad de amonio en la atmósfera incrementaría la concentración del ión sulfato al favorecer la formación de sulfatos de amonio.

13. No existe una correlación clara entre las concentraciones de los iones sulfato y nitrato, aunque ambos proceden de actividades biogénicas. Los iones amonio y nitrato presentaron una notable correlación, lo que resulta lógico debido a la presencia de nitrato en la atmósfera.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Recomiendo continuar con este estudio por un período de al menos un año para obtener datos de composición iónica de la lluvia y pH en la época seca y en la época lluviosa y así disponer de mayor información que nos ayude a corroborar los valores obtenidos en el presente estudio.
2. Recomiendo analizar diferentes tipos de compuestos orgánicos (ácido acético y ácido fórmico) e inorgánicos (además de los ya analizados en este proyecto); estos compuestos supondrían una contribución a la formación de lluvia ácida y con ello el establecimiento de un criterio más amplio en cuanto al pH, a la concentración de iones y a la correlación existente entre estos parámetros y su distribución en la atmósfera.

BIBLIOGRAFÍA

1. BURRIEL, Fernando, LUCENA, Felipe, ARRIBAS, Siro, HERNÁNDEZ, Jesús. QUÍMICA ANALÍTICA CUALITATIVA. Decimoctava Edición. Editorial Thomson. Madrid, España. 2003.
2. ESPERT, Vicent, LÓPEZ, Amparo. DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA. Primera Edición. México. 2004.
3. JENKINS, David, SNOEYINK, Vernon. QUÍMICA DEL AGUA. Séptima Edición. Editorial Limusa. México, D.F., México. 2000.
4. KENNET, Whitten, KENNET, Gailey, RAYMOND, Davis. QUÍMICA GENERAL. Tercera Edición. Mc Graw Hill. España. 1994.
5. MANAHAN, Stanley. INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA AMBIENTAL. Primera Edición. Editorial Reverté. México, D.F. 2007.
6. PASQUALI, Ricardo. QUÍMICA AMBIENTAL. Primera Edición. AKADIA Editorial. Buenos Aires. Argentina. 2003.
7. PUIGSERVER, Manuel, CARRASCAL, M.Dolors. EL MEDIO ATMOSFÉRICO: METEOROLOGÍA Y CONTAMINACIÓN. Primera Edición. España. 2008
8. RIGOLA, Miguel. TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES. Editorial Alfaomega. Colombia. 2005.
9. SAWYER, Clair, PERRY, L, PARKIN, Gere. QUÍMICA PARA INGENIERÍA AMBIENTAL. Cuarta Edición. Mc Graw Hill Editorial. Bogotá, Colombia. 2001.
10. SEOÁNEZ, Mariano. TRATADO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA. Primera Edición. Editorial Mundi- Prensa. Madrid, España. 2002
11. SIERRA, Miguel, GÓMEZ, Mar. PRINCIPIOS DE QUÍMICA MEDIOAMBIENTAL. Primera Edición. España. 2007.

12. SPIRO, Thomas, STIGLIANI, William. QUÍMICA MEDIOAMBIENTAL. Segunda Edición. Editorial Prentice Hall. Madrid, España. 2004.
13. BASTIDAS, Diego, LASSO, Sergio. FICHA INFORMATIVA DE LOS HUMEDALES. Disponible en:
<http://www.ambiente.gov.ec/userfiles/50/Reserva%20Biol%C3%B3gica%20Limoncocha.pdf> Última actualización 20 de noviembre de 2008.
14. "Equipo de Agua Limpia (CWT) 2004. La conductividad eléctrica / salinidad, Fact Sheet FS- 3.1.3.0 (EC). 3.1.3.0 (CE) en: El Equipo de Limpieza del Agua de Orientación Compendio para la Supervisión de Cuenca y Evaluación, 2.0. División de Calidad del Agua, Agua del Estado de California Junta de Recursos de Control (SWRCB), Sacramento, CA. " Disponible en:
http://www.swrcb.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130en.pdf
15. INTERCIENCIA. Química atmosférica en la Gran Sabana III: Composición iónica y características ácido-básicas de las lluvias. SANHUEZA, Eugenio, SANTANA, Magaly, DONOSO, Loreto, PACHECO, Milexi. 2005. Disponible en:
http://www.interciencia.org/v25_04/sanhueza.pdf
16. MUÑOZ, Roberto, LÓPEZ, Gerardo, CAMPOS, Alejandro, 2008. ESTADO DE LLUVIA ÁCIDA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/simat/>. Enero 2008.
17. RODRÍGUEZ, Armando, SÁNCHEZ Claudia. LLUVIA ÁCIDA Y SUS EFECTOS. Disponible en:
<http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/documentos/lluviaAcidaSusEfectos.pdf>
18. SÁNCHEZ, Ligbel, MORALES, José, VELÁSQUEZ, Harvi, PORTILLO, Dennis, CANO, Yulixis, MONTILLA, Brinolfo, IRIARTE Nelkis, MESA Johan. COMPOSICIÓN IÓNICA Y NIVELES DE ACIDEZ DE LAS LLUVIAS EN MARACAIBO, VENEZUELA, ENTRE 1989 Y 2001. Disponible en:

http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/contaminacion/acervo/vol_25_3/5.pdf. Enero 2009.

19. VELASCO, Erik. LLUVIA ÁCIDA EN LOS BOSQUES DEL PONIENTE DEL VALLE DE MÉXICO. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaidis/mexico26/vi-021.pdf>. 2002.

GLOSARIO

1. **Acidez:** Es la capacidad de una sustancia para neutralizar bases u iones OH^-
2. **Ácido:** Sustancia que libera o dona iones H^+
3. **Ácido débil:** Son ácidos con menos tendencia a disociarse y posee una constante de ionización baja.
4. **Ácido fuerte:** Son ácidos con alta tendencia a disociarse en solución y tiene una constante de ionización alta.
5. **Ácido sulfúrico (H_2SO_4):** Ácido muy corrosivo y agente deshidratante. Se obtiene por oxidación de SO_2 en presencia de vapor de agua.
6. **Ácido nítrico (HNO_3):** Ácido incoloro, muy fuerte desde el punto de vista iónico. Es tóxico y muy corrosivo.
7. **Ácido clorhídrico (HCl):** Ácido fuerte e incoloro, no oxidante que se encuentra totalmente disociado en solución acuosa.
8. **Alcalinidad:** Es la medida de la capacidad de una sustancia para neutralizar ácidos u iones H^+
9. **Amoníaco (NH_3):** Es el producto inicial de la descomposición de residuos nitrogenados. La mayor parte de amoníaco en el agua está presente como ión amonio NH_4^+
10. **Anión:** Son iones negativos que han adquirido uno o varios electrones, se derivan de los no metales. La carga de un anión obtenido de un ácido es igual al número de hidrógenos que se han sustituido.
11. **Base:** Sustancia que es capaz de aceptar un protón.
12. **Basicidad:** Es manifestada por un pH elevado. Mayor concentración de iones OH^-

- 13. Cati3n:** Son iones positivos que han perdido uno o varios electrones.
- 14. Cloruros (Cl⁻):** I3n incoloro y neutro. Son sales del 3cido clorh3drico y son muy solubles en agua.
- 15. Conductividad el3ctrica:** Es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Los iones disueltos son conductores.
- 16. Constante de ionizaci3n:** Indica la capacidad de disociaci3n de un 3cido y expresa la fuerza del mismo, a mayor valor de esta constante, m3s fuerte es el 3cido.
- 17. Contaminaci3n atmosf3rica:** Presencia de sustancias en la atm3sfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentraci3n suficiente por un tiempo y espacio que interfiere con la salud y bienestar de los humanos o del ambiente.
- 18. Cuerpo de agua:** Acumulaci3n de agua corriente o quieta que en su conjunto forma la hidr3sfera, esteros, manantiales, lagunas, lagos, mares, oc3anos, r3os, arroyos, reservas subterr3neas y cualquier otra acumulaci3n de agua.
- 19. Dep3sito 3cido:** Es el establecimiento de compuestos acidificantes en forma seca o h3meda sobre la superficie terrestre procedente de la atm3sfera.
- 20. Dep3sito H3medo:** Corresponde a un aporte de contaminantes arrastrados por lluvias, nieve, niebla, roc3o o granizo.
- 21. Dep3sito seco:** Corresponde a la absorci3n de gases o de aerosoles por la cubierta del suelo, en condiciones secas.
- 22. Di3xido de azufre (SO₂):** Gas reductor incoloro, de olor picante.
- 23. Di3xido de carbono (CO₂):** Gas incoloro e inodoro, presente en grandes cantidades en la atm3sfera.

- 24. Especie química:** Se caracteriza por estar constituida por un material homogéneo que posee propiedades específicas constantes y características.
- 25. Fauna:** La vida animal que caracteriza una región o ambiente geográfico específico.
- 26. Flora:** La vida vegetal que caracteriza una región o ambiente geográfico específico.
- 27. Ión:** Son partículas o átomos electrizados, pueden ser positivos o negativos.
- 28. Lluvia:** Precipitación de partículas de agua líquida que se presentan como gotas de diámetro de más de 0,5 mm, o también como gotas pequeñas y dispersas.
- 29. Lluvia ácida:** Se denomina lluvia ácida a las precipitaciones acidificadas por la presencia de ácidos más fuertes que el dióxido de carbono CO_2 (aq).
- 30. Soluble:** Se refiere a una sustancia que se disuelve en un líquido.
- 31. Sulfato (SO_4^{2-}):** Es un ión negativo, incoloro y neutro y procede principalmente del ácido fuerte, ácido sulfúrico (H_2SO_4). Las sales de ácido sulfúrico se conocen como sulfatos.
- 32. Nitratos (NO_3^-):** Son sales incoloras y neutras procedentes del ácido nítrico, son solubles en agua.
- 33. Óxidos de nitrógeno:** Son compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno
- 34. pH:** Es una medida de la concentración de iones de hidrógeno, determina la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa y se define como: $\text{pH} = \log (1/(\text{H}^+))$.
- 35. Partes por millón (ppm):** Unidad de concentración para soluciones acuosas. Es el número de miligramos de soluto por kilogramo de solución, donde un kilogramo de solución tiene un volumen de aproximadamente un litro.

- 36. Reserva Biológica:** Una reserva natural o biológica es un área protegida de importancia nacional, ecológica, social y cultural, debido a la flora, fauna y ecosistemas en ella existentes.
- 37. Smog Fotosintético:** Neblina amarillenta formada principalmente por óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y luz ultravioleta.
- 38. Sólidos totales disueltos (TDS):** Son aquellas sustancias minerales que se encuentran disueltas en el agua. Tienen estrecha relación con la Conductividad eléctrica.
- 39. Siemens:** Es la unidad para medir la conductancia eléctrica.

ANEXOS FOTOGRÁFICOS

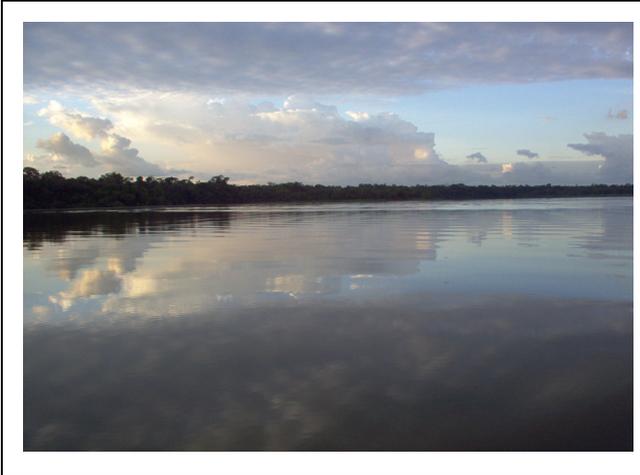


Foto 1: Laguna de Limoncocha.



Foto 3: Muestreador manual



Foto 2: Muelle- Laguna de Limoncocha.



Foto 4: Muestreador manual.



Foto 5: Colector convencional.

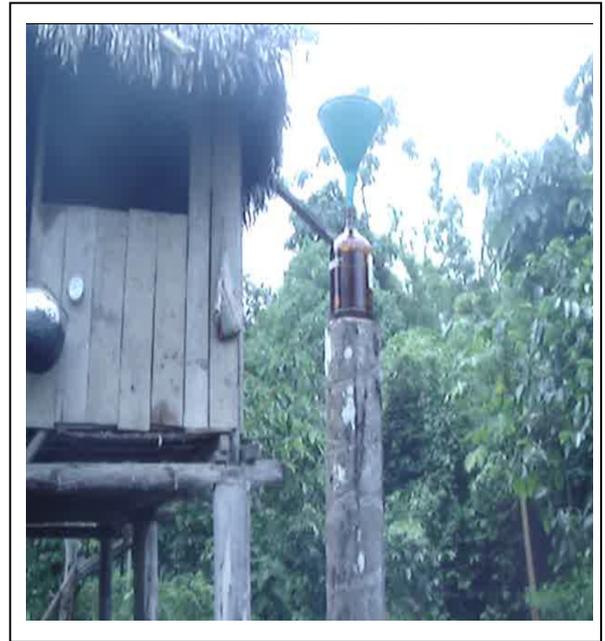


Foto 6: Colector convencional.



Foto 7: Colector improvisado.



Foto 8: Colector manual.



Foto 9: Agua lluvia en vasos de precipitación.



Foto 10: Medición de Parámetros.



Foto 11: Medición de parámetros.