

**COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL Y SUS CARACTERISTICAS
FISICOQUIMICAS DURANTE UN CICLO ANUAL EN UN RÍO
INTERMITENTE CASO: QUEBRADA POTRERILLO – PATIA (CAUCA).**

RUBIEL NICOLÁS CAICEDO GONZALEZ

Trabajo de grado como requisito parcial para optar el título de Biólogo.

**DIRECTOR:
Mg. JOSÉ BELTRÁN**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYAN
2008**

**COMPORTAMIENTO DEL CAUDAL Y SUS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS
DURANTE UN CICLO ANUAL EN UN RÍO INTERMITENTE CASO: QUEBRADA
POTRERILLO – PATIA (CAUCA).**

RUBIEL NICOLÁS CAICEDO GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYAN
2008**

Nota de aceptación:

Firma del director
Mg. José Beltrán

Firma del jurado
Mg. Gerardo I. Naundorf

Firma del jurado
Ing. Luis Jorge González

Fecha de sustentación:
Popayán, enero 26 de 2009

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	17
RESUMEN	19
INTRODUCCIÓN	11
1. ALCANCES	14
2. ANTECEDENTES	15
3. OBJETIVOS	18
3.1. OBJETIVO GENERAL	18
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
4. MARCO TEÓRICO	19
4.1. RIOS INTERMITENTES	19
4.2. CAMBIOS HIDROQUÍMICOS DE LOS RÍOS INTERMITENTES	22
4.3. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS A EVALUAR.....	23
4.3.1 Temperatura hídrica.....	24
4.3.2 Oxígeno disuelto.	24
4.3.3 Saturación de Oxígeno.....	25
4.3.4 Dióxido de carbono.	26
4.3.5 Conductividad.	26
4.3.6 Nitritos.....	27
4.3.7 Nitratos.....	27
4.3.8 Dureza.....	27
4.3.9 Amonio.....	29
4.3.10 pH.....	30
4.3.11 Sólidos suspendidos totales.....	30
4.3.12 Turbiedad.Sólidos.	31
4.4 HIDROLOGÍA	31
4.4.1 Caudal.....	31
4.4.2 Relación área-velocidad.....	32
4.4.3 Área- pendiente.....	33
4.4.4 Flotador.....	33
4.4.5 Concentraciones salinas.....	34
4.4.6 Volumétrico.....	34
4.5 SUELO.....	34
4.5.1 Depósitos coluviales.....	35
4.5.2 Depósitos fluviales.....	35
4.6 NIVEL FREÁTICO.....	38
5. METODOLOGÍA	39

5.1.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	39
5.1.1	Localización.	39
5.1.2	Descripción de las Zonas de Muestreo.	40
5.1.3	Actividades agropecuarias.	44
5.1.4	Geología general.....	44
5.1.5	Vegetación natural.	45
5.2.	MUESTREO Y TRATAMIENTO DE LOS PÁRAMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA.....	46
5.2.1	Análisis de las variables Físicas y Químicas.....	46
5.2.2	Análisis del Nivel Freático.	47
5.2.3	Análisis de Suelos.	48
5.2.4	Análisis de Parámetros Climáticos.	50
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	51
6.1.	Aspectos climáticos.....	51
6.1.1	Temperatura ambiental	51
6.1.2	Evaporación.	52
6.1.3	Precipitación.....	54
6.2.	Hidrología.....	56
6.2.1	Caudal y Precipitación.....	56
6.2.2	Nivel freático.	75
6.3.	LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LOS SUELOS	77
7.	CONCLUSIONES	82
8.	RECOMENDACIONES	84
9.	BIBLIOGRAFIA	85
ANEXO A	91
ANEXO B	92

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS REGÍMENES DE FLUJO HÍDRICO EN LOS ECOSISTEMAS (MODIFICADO DE BOULTON Y BROCK, 1999)	21
TABLA 2. GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SUELOS. CLASES TEXTURALES	37
TABLA 3. PRODUCTOS DE METEORIZACIÓN QUÍMICA DE LOS SILICATOS COMUNES QUE FORMAN LAS ROCAS.....	37
TABLA 4. VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS MEDIDAS EN CADA MUESTREO.....	47
TABLA 5. VALORES MEDIOS DE TEMPERATURA. ESTACIÓN LA FONDA PARA EL AÑO 2006.....	51
TABLA 6. REGISTROS MENSUALES DE EVAPORACIÓN (MM) TOMADOS DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA LA FONDA	53
TABLA 7. VALORES MEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (MM) DE LAS ESTACIONES CERCA AL ÁREA DE ESTUDIO. REGISTROS HISTÓRICOS DESDE 1979 HASTA EL 2006.....	55
TABLA 8 . VALORES MENSUALES DE CAUDAL, ANCHO TOTAL Y ANCHO ACTIVO REGISTRADOS EN LA (A) ZONA 1 Y (B) ZONA 2.....	57
TABLA 9. VALORES MEDIOS MENSUALES DE EVAPORACIÓN (MM) REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN LA FONDA	60
TABLA 10. VALORES MENSUALES DE TEMPERATURA AMBIENTAL Y TEMPERATURA HÍDRICA REGISTRADOS EN LA (A) ZONA 1 Y (B) ZONA 2.....	61
TABLA 11. VALORES MENSUALES DE LA VARIABLE OXÍGENO.....	62
TABLA 12. VALORES MENSUALES DE LA VARIABLE CO ₂	64
TABLA 13. VALORES MENSUALES DEL GAS CARBÓNICO (CO ₂) Y PH EN LA (A) ZONA 1 Y (B) ZONA 2.....	66
TABLA 14. VALORES MENSUALES DE CONDUCTIVIDAD (μMHOS/CM) , TURBIDEZ (NTU), (A) ZONA 1, (B) ZONA 2	68
TABLA 15. VALORES MENSUALES DE DUREZA TOTAL, CARBONÁCEA Y CALCIO EN LA (A) ZONA 1 Y (B) ZONA 2	70
TABLA 16. VALORES MENSUALES DE AMONIO, NITRITOS Y NITRATOS EN LA (A) ZONA 1 Y (B) ZONA 2	72
TABLA 17. DATOS DEL NIVEL FREÁTICO DE LA ZONA 1 Y ZONA 2.....	75
TABLA 18. REGISTROS EDÁFICOS DE CALCIO (CA), MAGNESIO (MG) Y POTASIO (K), DURANTE LAS ÉPOCA DE LLUVIA Y VERANO, EN AMBAS ZONAS DE LA QUEBRADA POTRERILLO.	77
TABLA 19. REGISTROS EDÁFICOS DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, FOSFORO (P), AMONIO (NH ₂), DURANTE LAS ÉPOCAS DE LLUVIA Y VERANO, EN AMBAS ZONAS DE LA QUEBRADA POTRERILLO.	78
TABLA 20. REGISTROS EDÁFICOS DE TEXTURA EN AMBAS ZONAS DE ESTUDIO DURANTE LAS ÉPOCAS DE LLUVIA Y VERANO EN LA QUEBRADA POTRERILLO.	79
TABLA 21. VALORES MENSUALES, PROMEDIO ANUAL Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS HÍDRICOS EN LA ZONA 1.....	91
TABLA 22. VALORES MENSUALES, PROMEDIO ANUAL Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS HÍDRICOS EN LA ZONA 2.....	92

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. MOLINETE DE HÉLICE.....	33
FIGURA 2. LOCALIZACIÓN QUEBRADA POTRERILLOS- MUNICIPIO EL BORDO (PATÍA). FUENTE: ASOCIACIÓN SUPRA DEPARTAMENTAL DE MUNICIPIOS DE LA REGIÓN DEL ALTO PATÍA (ASOPATIA) 2006.	39
FIGURA 3. . QUEBRADA POTRERILLO, SITIO CONOCIDO COMO SAN PEDRO (ZONA 1 DE MUESTREO PARTE ALTA DEL CAUCE) ÉPOCA DE SEQUÍA.....	41
FIGURA 4. QUEBRADA POTRERILLO, SITIO CONOCIDO COMO SAN PEDRO (ZONA 1 DE MUESTREO, PARTE ALTA DEL CAUCE) ÉPOCA DE LLUVIAS.	42
FIGURA 5. QUEBRADA POTRERILLO (ZONA 2 DE MUESTREO, PARTE BAJA DEL CAUCE) ÉPOCA DE LLUVIAS.	43
FIGURA 6. QUEBRADA POTRERILLO (ZONA 2 DE MUESTREO, PARTE BAJA DEL CAUCE) ÉPOCA DE SEQUIA.	44
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA. ESTACIÓN LA FONDA.	52
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN DE LA EVAPORACIÓN.....	54
FIGURA 9. . DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL. ESTACIÓN LA FONDA Y EL ESTRECHO.....	56
FIGURA 10. VARIACIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN Y DEL CAUDAL PARA EL AÑO 2006, EN LA QUEBRADA POTRERILLOS. (A) ZONA 1, (B) ZONA 2.....	59
FIGURA 11. CAMBIOS TEMPORALES EN LAS CONCENTRACIONES DE OXÍGENO Y GAS CARBÓNICO DISUELTOS EN EL AGUA EN RELACIÓN CON LA TEMPERATURA HÍDRICA. (A) ZONA 1, (B) ZONA 2.	65
FIGURA 12. CAMBIOS TEMPORALES EN LA CONCENTRACIÓN DE GAS CARBÓNICO Y PH. (A) ZONA 1, (B) ZONA 2.	67
FIGURA 13. . CAMBIOS TEMPORALES EN LAS CONCENTRACIONES DE DUREZA TOTAL, DUREZA CARBONÁCEA Y CALCIO. (A) ZONA 1, (B) ZONA 2.	72
FIGURA 14. CAMBIOS TEMPORALES EN LAS CONCENTRACIONES DE AMONIO, NITRITOS Y NITRATOS. (A) ZONA 1, (B) ZONA 2.....	74
FIGURA 15. HIDROGRAMA QUE MUESTRA LA FLUCTUACIÓN EN UN CICLO ANUAL DEL NIVEL FREÁTICO EN LA QUEBRADA POTRERILLO.....	76
FIGURA 16. PORCENTAJES EDÁFICOS DE CALCIO, MAGNESIO, Y POTASIO EN LA ZONA 1 EN ÉPOCA DE INVIERNO.	77
FIGURA 17. PORCENTAJES EDÁFICOS DE CALCIO, MAGNESIO, Y POTASIO EN LA ZONA 1 EN ÉPOCA DE INVIERNO Y VERANO.....	78
FIGURA 18. PORCENTAJES EDÁFICOS DE ARCILLA, ARENA Y LIMO EN LA ZONA 1 ÉPOCA DE INVIERNO Y VERANO.	80
FIGURA 19. PORCENTAJES EDÁFICOS DE ARCILLA, ARENA Y LIMO EN LA ZONA 2 ÉPOCA DE INVIERNO Y VERANO.	80

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a:

Dios por haber permitido llevar a cabo mi formación profesional en el área de Biología.

Mis padres, Fulvia González y Norberto Caicedo, quienes con su paciencia, tolerancia y esmero siempre brindándome el apoyo necesario para la culminación de este objetivo.

Mis hermanos, Armando Caicedo, Jorge Caicedo y Fabio González por su apoyo incondicional.

Mi Director Mg. José Beltrán, por sus aportes y guía durante todo este proceso.

Evaluadores del proyecto en cada uno de sus fases; profesora Magnolia Constanza Longo y Neyla Benítez.

Los maestros Hildier Zamora, Gerardo Ignacio Naundorf, Leónidas Zambrano y Guillermo Vásquez, por el gran aporte a mi formación personal y académica.

Efraín Castro, Alexis Ocasiones, Carlos Ararat, Jairo Castelblanco, todos los amigos de Residencias Universitarias y la familia Alvira Manios por su gran apoyo incondicional.

Compañeros de trabajo de campo del Énfasis Recursos Hidrobiológicos Continentales del 2006.

Todos mis amigos y compañeros.

RESUMEN

Con este estudio se generó un mayor conocimiento, sobre el comportamiento de los parámetros físicos y químicos hídricos, a nivel espacial y temporal de la quebrada Potrerillo, para el municipio de Patía y la relación que tiene este comportamiento con el suelo, la precipitación y la variación del caudal, este trabajo permitió detectar posibles tensiones (deforestación, agricultura y ganadería, entre otros) que producen efectos negativos para la fauna y flora del ecosistema.

Se realizaron mediciones de parámetros físicos y químicos, como: caudal, conductividad, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, gas carbónico, pH, durezas total y Carbonácea, calcio, amonio, nitritos, nitratos y también se realizó un estudio de suelos con el fin de corroborar los parámetros ya mencionados en dos zonas de la quebrada Potrerillo, microcuenca del río Patía, Departamento del Cauca. Con base en los registros históricos de precipitación facilitados por el IDEAM, y los resultados obtenidos en este estudio, se estableció que la quebrada es un sistema estacional, con cuatro periodos hidrológicos, que determinan la actividad del flujo hídrico y los cambios que se presentan en la fisicoquímica.

Los períodos de lluvia escasa (Enero y Febrero) y moderada (Marzo a Junio), en conjunto, mantienen unas características fisicoquímicas óptimas para el desarrollo de diversos taxones. Estudios ya realizados, indican que en este período se presentan los valores más altos en estimativos comunitarios como densidad, riqueza y diversidad de los diferentes taxones (Longo, 2006). La época de sequía (de Julio a Octubre), y el consecuente cese del caudal, generaron pozas aisladas en el eje longitudinal del lecho, esto altera los parámetros físicos y químicos, ya que la biota acuática se ve obligada a habitar en estos espacios reducidos. Finalmente las lluvias abundantes (Noviembre y Diciembre) traen consigo una nueva dinámica hídrica, generando cambios óptimos en los parámetros fisicoquímicos que garantizan la sobrevivencia de la biota.

Con los registros de los parámetros físicos y químicos, se estableció que la quebrada Potrerillo es un sistema mesotrófico con buena calidad de agua durante las temporadas de flujo hídrico, ya que durante la época seca en los pozos que se forman, algunos parámetros fisicoquímicos importantes, disminuyen considerablemente, limitando la sobrevivencia de la biota acuática.

INTRODUCCIÓN

En este estudio se determinó, en un ciclo anual, el comportamiento del caudal de la quebrada Potrerillo, mediante un aforo mensual: sus características físico-químicas hídricas, el nivel freático y las características edafológicas de la rivera de la quebrada Potrerillo. Este ecosistema se caracteriza por ser un río intermitente, el cual, según Vidal Abarca, se constituye en un reto científico el saber cómo difieren los caudales y sus características físicoquímicas en estos ecosistemas, por la gran variabilidad espacial y temporal que experimentan estos ríos (Vidal-Abarca y col. 2004). Este tipo de ecosistemas intermitentes son comunes en muchas de estas regiones semiáridas y áridas pero varían sustancialmente en relación con la frecuencia, duración e intensidad del flujo, por lo cual, de acuerdo con la clasificación de Boulton Brock (1999, citados por: Brock, y col., 2003), el ecosistema estudiado se clasifica como río intermitente. Es importante aclarar que los ríos intermitentes se encuentran en regiones secas o semiáridas, característica que se presenta en gran parte del municipio del Patía. Adicionalmente algunas intervenciones antrópicas (deforestación, degradación de tierras) acentúan el fenómeno de intermitencia en todas las microcuencas que son afluentes del río Patía.

El interés en desarrollar este estudio se originó por el desconocimiento que se tiene en Colombia y otros países, sobre el comportamiento físicoquímico a nivel espacial y temporal de los caudales en los ríos intermitentes (Davies y col.1994). Por eso la motivación de realizar estudios, sobre el comportamiento físico químico, ya que estos parámetros determinan en gran medida la fauna encontrada en este sistema.

Se generó gran interés por realizar estudios de este tipo en la quebrada Potrerillo debido a la extraordinaria variabilidad ambiental, presente en estos ecosistemas

intermitentes, los cuales están sometidos a cambios drásticos del clima local, que comprende períodos prolongados de sequía y periodos cortos de aguas presentes, con eventos de inundación de escasa duración, originando grandes cambios en el caudal y posiblemente en sus características fisicoquímicas hídricas, biológicas y en la estabilidad del sustrato.

Sabemos que, de las condiciones físico-químicas del agua en las cuencas, va a depender la sobrevivencia de la microflora y microfauna, las cuales a su vez sirven de alimento a la fauna ictiológica en los ríos, en donde las poblaciones humanas realizan pesca artesanal para la obtención de la principal fuente de proteínas. De otro lado la fuente principal de abastecimiento de agua para uso domestico y consumo humano lo constituye el agua de los ríos o riachuelos formados en las quebradas, de allí la importancia del estudio de sus aguas.

En todos estos ecosistemas, aunque en diversos grados de alteración, se perjudican las uniones verticales entre el hábitat de la superficie con respecto a el del agua subterránea, y las uniones laterales con las planicies de inundación y las zonas riparias, con lo cual para poder sobrevivir los organismos responden de manera simultanea con adaptaciones fisiológicas, morfológicas, etológicas y con la sincronización de los ciclos de vida asociados a los regímenes hidrológicos (Wiggins y col.,1982).

Desde el punto de vista longitudinal. Vannote y col., (1980) plantean el concepto de Río Continuo(CRC), en el que la biodiversidad, la distribución de los organismos y sus relaciones tróficas varían en función de los cambios físicos y químicos del agua y del entorno ambiental que ocurren a lo largo del lecho fluvial. De la misma manera, la variabilidad en el régimen de caudales influye en la estabilidad, diversidad y disponibilidad de hábitat, en la morfometría fluvial y la

interacción o conectividad lateral de los flujos de agua con las zonas inundables (Junk y col.,)

Con este estudio se generó un mayor conocimiento, sobre el comportamiento de los parámetros físicos y químicos hídricos, a nivel espacial y temporal de la quebrada Potrerillo, para el municipio de Patía. Se estableció la relación que tiene este comportamiento con factores incidentes como las características del suelo, la precipitación y la variación del caudal.

Este trabajo permitió detectar que la deforestación, agricultura y la ganadería, entre otras, son factores que producen efectos negativos para la fauna y flora del ecosistema.

1. ALCANCES

El presente trabajo además de contribuir con el acopio de conocimiento científico sobre el comportamiento del caudal y sus características fisicoquímicas hídricas en este tipo de ecosistemas, busca también plantear la importancia de este conocimiento para otros estudios como la adaptación de la fauna y la flora acuática, con la variación de estos parámetros y cuando el caudal desaparece temporal y espacialmente.

El estudio y el mayor conocimiento de las características hidrológicas de estos ríos nos aproximan cada vez más a lo que debiera ser una gestión y manejo del agua acorde con los principios de sostenibilidad del recurso (PBOT, 2005). Indudablemente esta gestión no es fácil y por ello supone un reto ineludible para la colaboración de otros investigadores y ciudadanos.

El determinar el comportamiento del caudal y sus características físicas y químicas de la corriente intermitente quebrada Potrerillo, sirve para mitigar algunos efectos negativos, como es la deforestación, la ganadería y la agricultura que afectan de una manera directa la flora y fauna hídrica del ecosistema.

2. ANTECEDENTES

Vidal-Abarca y col. En el 2004 realizaron la estimación de las causas que producen la variabilidad espacial y temporal de los componentes físicos, químicos, y bióticos en ríos de regiones semiáridas (río Chicamo y Segura); en Murcia España. Encontraron que el balance hídrico negativo característico de estas regiones sitúa a sus ríos en extremos ambientales que pasan desde periodos de sequía a eventos de inundación de escasa duración. Tres factores claves determinan esta variabilidad: la temporalidad de las aguas, la interacción del agua superficial, subsuperficial y subterránea y la topología del sustrato.

Vidal-Abarca, 1999. Hizo la estimación de cómo la reducción de los caudales en los ríos intermitentes de España favorecen el metabolismo autotrófico. Encontró que la reducción de sus caudales hace que estos ríos sean productores-acumuladores de carbono orgánico, que exportan a modo de “pulsos” durante las crecidas.

Gasith y Resh, 1999. Hicieron estudios sobre aspectos funcionales en la dinámica del río intermitente Chícamo. España, encontrando en términos de producción primaria que la aridez en estos ecosistemas intermitentes, hace que aumente la eutrofia.

Rincón, y col. 1997. Hicieron la estimación de algunos factores que influyen en el procesamiento de la hojarasca de *Anacardium excelsum*. Fueron examinados en un pozo y un rápido en el caño Charichuano; una corriente intermitente de segundo orden ubicada al noreste de Venezuela. Encontró que la tasa de

descomposición de la hojarasca determinada para el rápido y el pozo son estadísticamente diferentes, las densidades del rápido resultaron siendo mayores que en el pozo, sugirió que la abrasión física causada por la velocidad de la corriente y un incremento en la actividad microbiana, podría explicar las diferencias observadas en el procesamiento de la hojarasca de *A. excelsum*.

Marini y Piccolo, 2000, trabajaron la geomorfología del río Quiquen Salado, en Argentina. El objetivo fundamental de este estudio era conocer las características, dinámicas y procesos que dominan los diferentes cursos de la cuenca hidrográfica. Encontraron cuatro tipos de drenaje: radial, dendrítico, paralelo y centrífugo, también encontraron que la cuenca experimenta frecuentes anegamientos que tienen dos tipos de orígenes: falta de pendiente en la cuenca alta y desbordes en sectores pocos profundizados de los cauces.

A nivel regional en la cuenca del Patía, y particularmente en la quebrada Potrerillo se han realizado hasta el momento los siguientes estudios:

Longo, 2007. Realizó, a nivel regional en la cuenca del Patía, quebrada Potrerillo; estudios sobre la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, encontrando en la época seca la desaparición de algunas taxa y la dominancia de otros y en la época de abundantes lluvias la colonización de organismos con estadios aéreos.

Ortiz y Díaz, 2008. Realizaron estudios en dos sitios de muestreo en la quebrada Potrerillo, tributario menor del río Patía en el Departamento del Cauca, obteniendo como resultado 89 géneros de algas, encontrando que la división con la mayor riqueza fue Chlorophyta con 36 (40.45%) géneros y la división con mayor abundancia fue Bacillarophyta con 3578 cel/cm² (65.45%), dentro de esta división

se encontró que el género más abundante fue *Navícola* con el 22% del total de individuos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar, en un ciclo anual, la relación entre el comportamiento del caudal y las características físico-químicas hídricas, en el ecosistema intermitente “Quebrada Potrerillo”.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Establecer los cambios espaciales y temporales de los parámetros físico-químicos hídricos, en relación con los cambios del estado del tiempo.

Establecer la relación entre las precipitaciones-caudal, y las características físico-químicas en la corriente Quebrada Potrerillo.

Interpretar y analizar las características físico-químicas edáficas en los dos sitios de muestreo durante los meses de máxima pluviosidad y estiaje.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. RIOS INTERMITENTES

El gran desconocimiento científico sobre el comportamiento de los ecosistemas lóticos intermitentes, ubicados en las regiones áridas y semiáridas; ha conllevado a que las referencias bibliográficas sobre el tema sean escasas (Davies y col.1994).

El balance hídrico negativo característico de estas regiones sitúa a sus ríos en extremos ambientales que pasan desde periodos de sequía a eventos de inundación de escasa duración. Tres factores claves determinan esta variabilidad. La temporalidad de las aguas, las interacciones del agua superficial, subsuperficial y subterránea y la tipología del sustrato. Todos ellos contribuyen a conformar el contenido hidroquímico y su variabilidad espacial y temporal, a marcar las características metabólicas del ecosistema (Suárez y col. 2000).

Algunos investigadores como Vidal-Abarca y col. (1992), Han realizado la clasificación de tres tipos de ríos considerando la temporalidad del régimen hídrico en estas zonas, la cual se define como el período durante el cual el río lleva agua en su cauce.

Ríos Permanentes; aquellos donde el flujo de agua permanece durante todo el ciclo hidrológico anual; *Efímeros* que son ríos que se forman cuando sobre su cauce cae fuertes precipitaciones determinan los caudales de los ríos *Intermitentes*, donde el flujo cesa una parte del año, aunque pueden existir pozas

con agua, la duración del período seco es inferior a seis meses, el flujo discontinuo se origina por la existencia de pequeños caudales de circulación subterránea que afloran en superficie cuando el sustrato es impermeable. En los ríos Intermitentes, se desarrollan especies que toleran la alternancia de periodos secos y húmedos (Vidal- Abarca y col. 1996).

En este estudio el concepto más importante a tener en cuenta es el río intermitente el cual se caracteriza por tener tramos en su cauce con agua estancada en pozas durante periodos de sequía que haya en el año. Esto fundamentalmente se debe, a la existencia de descargas de aguas sub superficiales, que posibilitan la existencia de tramos temporales y/o permanentes (Moreno y col. 2001). Gómez plantea que es importante mencionar que la intermitencia de estos ecosistemas también depende en gran parte del sustrato litológico dominante en la cuenca de drenaje (Gómez y col. 2001).

Los ecosistemas intermitentes en las corrientes, presentan dos eventos particulares; las crecidas y los estiajes. Las crecidas son fenómenos hidrológicos naturales que ocurren con cierto grado de impredecibilidad, como respuestas a precipitaciones intensas en el espacio y/o tiempo, donde se da la homogenización de todo el sistema (Suárez y col. 1995). Los estiajes donde se da la fragmentación del flujo (formación de pozas), es importante aclarar que este proceso se da en épocas de sequía (Guerrero, 2002).

Tabla 1. Clasificación de los regímenes de flujo hídrico en los ecosistemas (modificado de Boulton y Brock, 1999)

Patron de la sequia	Previsibilidad y duracion de las inundaciones
Semi-permanente	Flujo de agua bajo pero constante. Los flujos anuales son mayores a las perdidas mínimas en el 90% de los años. El lecho fluvial puede secarse durante eventos extremos
Estacional	Alternancia de épocas húmedas y secas cada año de acuerdo con la estación. Anualmente ocurren inundaciones durante la estación húmeda y luego cese del flujo hídrico. El agua superficial persiste durante varios meses.
Intermitente	Alternancia de épocas húmedas y secas pero con menor frecuencia y regularidad en comparación con el régimen estacional. El agua superficial puede persistir durante meses incluso años.
Episódico	El flujo anual es menor a la pérdida mínima en el 90% de los años. El secado persiste durante varios meses. Sólo raramente e irregularmente hay flujo y entonces el flujo puede persistir por meses.
Efímero	Solo hay inundaciones después de lluvias imprevisibles, pueden durar pocos días o incluso horas.

4.2. CAMBIOS HIDROQUÍMICOS DE LOS RÍOS INTERMITENTES

Una de las principales consecuencias del modelo hidrológico que caracteriza a estos ríos es la variabilidad de sus condiciones físicas y químicas, tanto a escala espacial como temporal.

La litología es la responsable del contenido en sales de las aguas superficiales y subterráneas, este parámetro se encuentra en mayor concentración hacia las zonas bajas y al contrario, con una menor concentración hacia la cabecera (Gómez y col. 1992).

Durante el tramo del cauce la litología y geomorfología definen las características físicas y químicas del agua. Si la pendiente y la textura del sustrato lo permiten, el agua que se infiltra en determinados puntos del cauce aflora aguas abajo con una hidroquímica diferente, resultado del contacto estrecho entre el agua y los sedimentos del cauce. La conductividad hídrica de los mismos es un factor clave para interpretar, por ejemplo, el patrón espacial de variación del Nitrógeno y del Fósforo del agua superficial (Gómez y col. 1992), y dicha importancia aumentará conforme disminuya el volumen de agua que fluya por los cauces. La situación más extrema se produce durante el estiaje, cuando la lámina de agua queda fragmentada y únicamente sustentada por pequeños resumes de agua subsuperficial o subterránea.

A menor escala (algunos metros) es el microrrelieve, que determina la profundidad de la lámina de agua, la acumulación de sedimentos finos o materia orgánica y la velocidad de la corriente (Gómez y col. 2001).

Las condiciones físicas y químicas del agua incrementan su variabilidad espacial conforme se diversifica el conjunto de condiciones físicas, hidrológicas y biológicas de los cauces, fenómeno que se ve acelerado durante las etapas tempranas del estiaje en los ríos áridos y semiáridos. Por el contrario, la variabilidad disminuye cuando tiene lugar una crecida. Tras ella, las características físicas y químicas se homogenizan, al conectarse los tramos aislados, "diluyéndose" los efectos de las variables de acción local. El cuadro hidroquímico resultante, dependiendo de la intensidad y volumen de la precipitación, será en último término reflejo de la litología y características de uso de las cuencas vertientes. En esta situación, el papel de la hidroquímica como indicador de las condiciones de la cuenca es elevado. Datos obtenidos por Gómez en 1995, en la cuenca del río Chícamo muestran, por ejemplo, valores máximos de Nitrógeno en el agua de escorrentía durante las primeras lluvias del otoño, disminuyeron su contenido conforme se suceden las precipitaciones.

Durante el estiaje, y como consecuencia de que los factores locales afectan más a las características del agua superficial, ésta pierde su papel indicador a nivel de cuenca, limitándose a ser reflejo de procesos puntuales de extrema variabilidad espacial y temporal. Un efecto similar tiene la temporalidad de agua en los cauces. Así, los tramos permanentes quedarían situados en el rango del flujo de base y los temporales, próximos al estiaje. (Gómez, 1995).

4.3. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS A EVALUAR

La sobrevivencia de la microfauna y microflora dependen en gran parte de las características físicas y químicas del agua y, por ende estas características, varían en función de: el tipo de ecosistema, posición geográfica, piso altitudinal, condición climatológica, zona de vida, tipo de fuente (superficial, pozo), naturaleza

geoquímica del sustrato, aspectos geológicos y geomorfológicos, hora día, profundidad de la columna de agua, y tipo de muestreo, entre otros.

4.3.1 Temperatura hídrica. Es un efecto que se deriva de la penetración lumínica, y por consiguiente de la cantidad de energía calórica, que es absorbida por los cuerpos de agua naturales. A demás rige a otros parámetros, tales como la evaporación, la solubilidad de los gases, la actividad de los organismos desintegradores del fondo, que transformen la materia orgánica en sustancias inorgánicas y nutritivas (Vásquez, 2001). La temperatura ha sido considerada como un factor de primera importancia. Ya que una misma especie funciona de manera muy diversa bajo temperaturas diferentes y el resultado de su competencia con otras puede depender de la temperatura. Un aumento de la temperatura aumenta el metabolismo y el consumo de Oxígeno; también el desarrollo. (Margalef, 1983).

4.3.2 Oxígeno disuelto. Es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos. El oxígeno llega al agua por intercambio con el medio atmosférico y el proceso bioenergético de la fotosíntesis generado por el phytoplankton y las macrophytas acuáticas. La difusión del oxígeno en un ecosistema acuático se lleva a cabo por medio de la circulación y movimientos del agua provocados por diferencia de densidad de las capas de agua o por los vientos; la fotosíntesis es la otra fuente de oxígeno en el agua, fundamentalmente en aguas lenticas como lagos y embalses (Roldan, 1992). Es un parámetro muy importante en este estudio, ya que es esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos que presentan una respiración de tipo aerobio (Wetzel, 1981). Además es el componente principal de las tres clases fundamentales de nutrientes conocidos que son: las proteínas, los carbohidratos y los lípidos.

De acuerdo con Vásquez (1992), La solubilidad en mg de oxígeno por litro de agua, decrece con el aumento de temperatura e incremento de salinidad. En el agua la concentración de oxígeno disuelto está cambiando constantemente por causa de procesos biológicos, físicos y químicos.

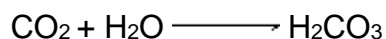
Como los cuerpos de agua no están nunca completamente quietos, la transferencia de oxígeno es regulada por la cantidad de turbulencia que incrementa el área de la interface aire-agua.

Los procesos biológicos son tanto o más importantes que los procesos físicos descritos en la regulación de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de ecosistemas lenticos. Las plantas incluido el fitoplancton, produce oxígeno mediante la fotosíntesis, se espera por tal razón, que la cantidad de oxígeno producido en las aguas superficiales sea una función de la abundancia del fitoplancton. Este proceso es controlado por factores tales como: temperatura, luz solar, concentración de nutrientes, turbulencia, especies y abundancia de plantas, entre otros.

Por otro lado, los organismos consumen el oxígeno en su respiración, que desde un punto de vista práctico puede considerarse como un proceso inverso a la fotosíntesis.

4.3.3 Saturación de Oxígeno. El valor de saturación de Oxígeno ideal para cada altura y cada temperatura debe ser del 100%; por debajo se dice que el agua esta subsaturada y por encima sobresaturada de Oxígeno. Por lo tanto, el porcentaje de saturación óptimo de un cuerpo de agua requiere más Oxígeno a mayor temperatura y menos a temperaturas mas bajas (Roldan, 1992).

4.3.4 Dióxido de carbono. Este gas se origina por descomposición de la materia orgánica, por la respiración de los animales, las plantas y arrastre por aguas lluvia, del dióxido de carbono atmosférico. El dióxido de carbono es un constituyente menor de la atmosfera (0.032%) y es altamente soluble en agua, comportándose como un ácido, tal como se observa en la siguiente ecuación:



El agua pura, saturada con CO₂ a 25 °C y a presión atmosférica estándar tiene una concentración total de 0.46 mg/l y teóricamente tendrá un pH de 5.68. a mayor concentración de dióxido de carbono el pH será menor, así, si la concentración es 30 mg/l a 0C, el pH será aproximadamente 4,8 (Roldan, 1992).

Este gas es de gran importancia en los ecosistemas acuáticos principalmente porque: actúan como “buffer” contra los cambios bruscos de acidez-alcalinidad, regula los procesos metabólicos de las comunidades acuáticas y contiene carbono, elemento básico en la formación de moléculas orgánicas (Wetzel, 1981).

4.3.5 Conductividad. La conductividad eléctrica, expresa la conductancia de una columna de agua comprendida entre dos electrodos metálicos de un centímetro cuadrado de superficie, separados uno del otro un centímetro. La conductividad aumenta con el contenido de sales electrolizables disueltas. Los ríos son oligotróficos, en su nacimiento, pero su conductividad y su concentración de iones va aumentando progresivamente a medida que llegan a los valles por efectos de la erosión del cauce, el arrastre de sedimentos y la escorrentía provocada por las lluvias (Roldan 1992). Es un parámetro importante en este estudio ya que su composición de menor a mayor concentración en un cuerpo de agua, puede estar

determinado por la composición geoquímica del área de influencia, intensidad de precipitación pluvial, características de los afluentes, influencia antropica, etc.

4.3.6 Nitritos. Según Roldan (1992), “se encuentra en bajas concentraciones, especialmente en aguas oxigenadas, pero en medios donde las condiciones tienden a ser anaeróbicas, los valores de nitritos tienden a aumentar considerablemente”.

Los nitritos en concentraciones mayores de 0.05 mg/l se consideran limitantes para el desarrollo de la biota e indicadores de alteración de los ecosistemas por residuos orgánicos (Benavides, 1997).

4.3.7 Nitratos. Los nitratos constituyen el último estado de oxidación del nitrógeno y es la forma como lo utilizan directamente las plantas y algas para sintetizar proteínas. De esta manera se cierra el ciclo del nitrógeno, el cual es el punto de partida para iniciarse de nuevo todo el proceso de nitrificación (Roldan 1992).

4.3.8 Dureza. Este parámetro está asociado con la presencia de iones calcio (Ca^{++}) y magnesio (Mg^{++}), que son los cationes más abundantes en las aguas continentales y se combinan principalmente con bicarbonatos y carbonatos, marcando la dureza temporal; o con sulfatos (SO_4^{++}) y cloruros, dando la dureza permanente. La suma de estos dos, corresponderá a la dureza total. Es necesario aclarar que la presencia de las aguas de Sílice, puede contribuir con la alcalinidad, pero no con la dureza (Vásquez, Z. 2001). Su importancia radica en su uso frecuente como indicador de la calidad de las aguas.

Aunque los conceptos de alcalinidad y dureza pueden relacionarse químicamente, especialmente cuando se maneja la calidad del agua para propósitos acuícolas, no siempre presentan correlación directa, caso de algunos sistemas hídricos subtropicales, en donde la alcalinidad puede ser muy alta y la dureza mínima.

La categorización de las aguas, bajo el punto de vista de la Dureza es variada y depende del propósito y punto de vista de análisis, así por ejemplo:

Según Sawyer and McCarty, 1967 (citado por Roldán, 1992):

0	-	75 mg CaCO ₃ /l	=	aguas blandas
75	-	150mg CaCO ₃ /l	=	aguas semiduras
150	-	300mg CaCO ₃ /l	=	aguas duras
Más	de	300mg CaCO ₃ /l	=	aguas muy duras

En términos generales, las aguas blandas son biológicamente poco productivas; mientras que las aguas con valores altos de dureza, son muy productivas.

Como existe una relación directa entre la Dureza total y la presencia de Calcio, Ohle (1934; citado por Roldán, 1992), propuso una categorización de las aguas, dimensionando el grado de productividad, así:

Menos de 10 mg/l de Ca = poco productivas.

10 - 25 " = medianamente productivas.

Mas de 25 " = muy productivas.

Al respecto, es necesario indicar que los ecosistemas acuáticos tropicales, generalmente son bajos en Calcio, aunque esté abunda más que el Magnesio. Reid (1996), indica que en aguas con valores menores de 50 mg/l de sólidos disueltos, el Calcio presenta el 48% de total de cationes presentes y el Magnesio solo el 14%. En valores superiores a 50mg/l de sólidos disueltos, el Calcio marca aproximadamente el 53% mientras que el Magnesio el 34%. Obviamente, hay que considerar la naturaleza geoquímica de los sustratos, en donde yacimientos subterráneos con altas concentraciones salinas, pueden incidir en valores significativamente altos de Calcio y Magnesio.

Bajo el punto de vista hidrobiológico, el Calcio es necesario para los procesos metabólicos de la biota acuática, mientras que el Magnesio, forma parte integral de moléculas de clorofila, incidiendo en los niveles de productividad primaria (Vásquez 1992).

4.3.9 Amonio. Es el principal producto final de la descomposición de la materia orgánica realizada por las bacterias heterótrofas. Aunque en la degradación progresiva de la materia orgánica se van formando compuestos nitrogenados intermedios, estos raramente se acumulan, sino que son rápidamente desaminados por las bacterias. A pesar de que el amonio constituye uno de los principales productos de excreción de los animales acuáticos; la cantidad de nitrógeno obtenida por esta vía es muy inferior a la derivada de la descomposición (Wetzel 1981).

El amonio del agua se presenta principalmente en forma de NH_4^+ y como NH_4OH no disociado siendo este ultimo altamente tóxico para los organismos, en especial para los peces (Trussell. 1972).

Las proporciones de amonio dependen de las dinámicas de disociación regidas por el pH y la temperatura (Hutchinson, 1957).

4.3.10 pH. Está íntimamente involucrado, con los cambios de acidez y basicidad y con la alcalinidad. Las letras pH, son la abreviatura para representar “potencial de hidrogeniones (H^+)” e indican las concentraciones de los iones H^+ y OH^- . (Roldan, 1992). Es importante para el desarrollo de la biota acuática, los valores limitantes están en un rango de 4.5 a 8.5, siendo el pH fisiológico óptimo de 7.0 a 7.4. Valores inferiores a 4.0 están dados por acidez mineral (presencia de Fe^{++} , Cu^{++} , Al^{+++} , S^{++}). Valores comprendidos entre 4.5 y 8.3 están dados por la dinámica del CO_2 , de mayor a menor concentración respectivamente. Valores cercanos a 7.0, bien sea menores o superiores, están dados por el sistema “buffer” (HCO_3^-). Valores comprendidos entre 7.0 y 9.5 están influenciados por la presencia de iones que determinan alcalinidad ($CO_3^{=}$) de menor a mayor respectivamente; y valores superiores a 9.5 están dados por la presencia de bases fuertes (OH^-). (Wetzel, 1981).

4.3.11 Sólidos suspendidos totales. Los investigadores definen este parámetro como el grado de opacidad que presentan los cuerpos de aguas, causado por la presencia de material propio del sistema (autóctono) o por aquellos que por escorrentía y/o lixiviación son aportados directamente a la columna (alóctono). Por lo tanto, inciden directamente en la transparencia, en la capacidad de penetración lumínica en la columna, en la transmisión de la luz y por ende, en el flujo de energía dentro del sistema acuático y en los niveles de productividad. Cuando los valores se aproximan o superan las 200 unidades, puede manifestarse una alteración drástica y severa en los flujos energéticos y niveles tróficos (Vásquez, 2001).

4.3.12 Turbiedad.Sólidos. Estos parámetros se relacionan con la cantidad de sólidos en suspensión, puesto que están dados por la cantidad de materia particulada suspendida, tales como arcilla, sedimentos, partículas orgánicas coloidales, plancton y otros organismos microscópicos.

4.4 HIDROLOGÍA

El Río Patía, depósito final de las aguas que conforman la cuenca alta del mismo, recibe las aguas de ríos importantes (Capitanes, Quilcace, San Jorge, Sajandi, Guachicono) y de subcuencas (quebradas la Luna, Potrerillos, las Tallas, Cascajal, Pulido, Palo bobo, el Salado.), las cuales contribuyen con un gran aporte de nutrientes a esta cuenca principal de la región (PBOT,2005).

En el área correspondiente al Municipio de Patía, se encuentran ubicadas numerosas quebradas tributarias de los ríos que conforman las subcuencas y que identifican las microcuencas del Plan. Sus caudales, debido a la deforestación ribereña las microcuencas presentan en un 30%, flujo hídrico efímero, lo cual arroja un balance negativo a las subcuencas que ameritan especial atención. Como indicador inequívoco de esta situación es su flujo hídrico intermitente de su mayoría de afluentes (PBOT, 2005).

4.4.1 Caudal. El caudal o escorrentía, se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. Su unidad de medición es en metros cúbicos por segundo (m^3/s), o litros por segundo (l/s) (González, 2004).

La medición del caudal o gasto de agua que pasa por la sección transversal de un conducto (río, quebrada, riachuelo) de agua, se conoce como aforo o medición de caudales, este caudal depende directamente del área de la sección transversal a la corriente y de la velocidad media del agua (Aparicio, 2001).

La fórmula que representa este concepto es:

$$Q = A \times V$$

Donde:

Q = Caudal, m³/s

A = Área de la sección transversal, m²

V = Velocidad media del agua en el punto, m/s

Existen diferentes métodos para aforar una corriente de agua, entre las cuales tenemos según Sánchez (1975).

4.4.2 Relación área-velocidad. Es el método que se llevo a cabo en este estudio; mediante un molinete (figura 2.). Es uno de los instrumentos más usados en estudios hidrométricos. Consiste principalmente en un rotor, que comprende el cuerpo del instrumento y el dispositivo medidor o registrador de la velocidad. Este aparato relaciona la velocidad del flujo en un punto; con el número de vueltas de las copas o hélices en un determinado tiempo.

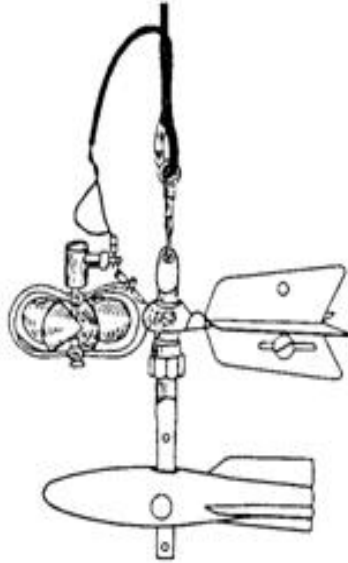


Figura 1. Molinete de hélice

Fuente. IDEAM

4.4.3 Área- pendiente. Para el cálculo indirecto de caudales. El empleo directo de una fórmula de flujo uniforme, para la determinación de la descarga de flujo, es conocido como el método área-pendiente.

Cuando se presentan las crecientes de un río, resulta imposible medir los caudales con molinete, debido a las velocidades altas de la creciete o al excesivo transporte de materiales sólidos por el agua. Conociendo las marcas del nivel máximo del agua durante el paso de la creciete, la topografía del cauce para obtener el área de la sección transversal y la pendiente de la energía en el tramo del canal de una longitud considerada y el coeficiente de rugosidad de Manning se puede determinar el caudal máximo presentado. (González, 1998)

4.4.4 Flotador. Cuando no se dispone de un equipo, por ejemplo un molinete, se puede reemplazar por flotadores, los cuales se lanzan al agua en un punto

previamente abscisado y se mide el tiempo transcurrido en recorrer la distancia conocida (González, 1998)

4.4.5 Concentraciones salinas. Consiste en agregar un compuesto químico o un elemento radioactivo a la corriente de agua en una sección y tomar muestras en secciones aguas abajo, y luego determinar las concentraciones (González, 1998)

4.4.6 Volumétrico. Consiste en recoger un volumen cualquiera de agua mediante un recipiente graduado en un tiempo determinado (González, 1998)

4.5 SUELO

Las unidades litológicas de consideración en el Valle del Patía, son las rocas sedimentarias terciarias, representadas por rocas de la formación Mosquera y de la formación Esmita. Las segundas ocupan amplias extensiones dentro de la cuenca Patiana, las mejores secciones de las rocas sedimentarias de la formación Esmita, conjunto arenáceo; fueron observadas en la quebrada San Pedro y la quebrada Potrerillo (Torres, col. 1992).

Cabe mencionar nuevamente la importancia de la litología y geomorfología de la cuenca, en las características físicas y químicas del agua (Gómez, col. 1992). Teniendo en cuenta que los suelos son el producto de las transformaciones químicas y físicas de los principales componentes de las rocas, es importante tener un poco de conocimiento sobre los detalles relacionados con estas transformaciones, para corroborar algunos parámetros químicos hídricos del río intermitente (González, 2004).

Según Illera (1998) “Las transformaciones químicas y físicas de los componentes de las rocas, son arrastrados por diversos agentes de transporte, los cuales pueden citarse como principales para este estudio: el agua (ríos, corrientes superficiales), el viento, el hombre, las fuerzas de gravedad. Estos agentes por lo general actúan combinándose; el transporte y la deposición dependen del tamaño y forma de las partículas, así como su homogeneidad o heterogeneidad”. Estas formaciones superficiales de suelos transportados se denominan depósitos y los más importantes son:

4.5.1 Depósitos coluviales. Son los formados por la acción de las fuerzas de gravedad las cuales generalmente actúan con la ayuda del agua. A los depósitos formados por material que se ha rodado por una ladera y se acumulado en una parte menos pendiente, se les llama depósitos de talud; estos depósitos son por lo general heterogéneos, con tamaños de partículas que van desde grandes bloques hasta limos y arcillas (Torres, 1992).

4.5.2 Depósitos fluviales. Son los formados por la sedimentación de materiales arrastrados por los ríos y demás corrientes permanentes de agua; estos depósitos se pueden encontrar en diferentes sitios, en sus valles y en sus llanuras de inundación.

El tamaño de las partículas arrastradas depende principalmente de la pendiente que tenga la corriente de agua lo que determina su velocidad; por esta razón en los primeros tramos del curso es mas común encontrar material grueso, mientras que en terrenos planos el material depositado es mas fino (limos y arcilla), los depósitos que dejan las aguas de los ríos y quebradas cuando inundan las llanuras y vegas aledañas se denominan depósitos aluviales, cuando la pendiente del agua decrece abruptamente una gran parte del sedimento trasportado se acula en el lugar del cambio, formando un deposito llamado abanico aluvial o cono de deyección.

Para la determinación del complejo hidrológico suelo- cubierta, los suelos se clasifican hidrológicamente. Según el U. S. Soil Conservation Service los suelos se clasifican en los cuatro grupos siguientes.

Grupo A. Es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran permeabilidad, incluso cuando están saturados, comprendiendo los terrenos profundos, sueltos con predominio de arena o grava y con muy poco limo y arcilla.

Grupo B. Incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del grupo A, aquellos otros de textura franco – arenosa de mediana profundidad y los franco profundos.

Grupo C. Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, porque presentan en estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque en conjunto su textura es franco – arcillosa o arcillosa.

Grupo D. es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos, profundos con alto grado de tumefacción (expandibles), los que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.

Para la definición de los grupos hidrológicos de suelos se utilizan las clases texturales (USDA).

Tabla 2. Grupos hidrológicos de suelos. Clases texturales

A	XII	ARENOSA	B	VIII	FRANCO-LIMOSA
	XI	ARENOSA-FRANCA		VII	FRANCA
	IX	FRANCO- ARENOSA		X	LIMOSA
C	VI	FRANCO-ARCILLO-ARENOSA	D	III	ARCILLO-ARENOSA
	V	FRANCO-ARCILLO-LIMOSA		II	ARCILLO-LIMOSA
	IV	FRANCO-ARCILLOSA		I	ARCILLOSA

Tabla 3. Productos de meteorización química de los silicatos comunes que forman las rocas.

MINERAL	COMPOSICION	PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION IMPORTANTES	
cuarzo	SiO_2	granos de cuarzo	algo de sílice en solución
ortoclasa	$K (AlSi_3O_8)$	arcilla cuarzo	algo de sílice en solución carbonatos de k
albita(plagioclasa sodica)	$Na (AlSi_3O_8)$		algo de sílice en solución
anortita	$Ca (AlSi_3O_8)$	arcilla	algo de sílice en solución carbonatos de Na y Ca
botita	silicatos de al con Fe, Ca, Mg	cuarzo dividido finalmente calcita (del Ca) arcilla	algo de sílice en solución carbonatos de Ca y Mg (solubles)
augita	$(Fe,Mg)_2 SiO_4$	calcita- limonita	
olivino		hametita cuarzo dividido finamente limonita hamatita cuarzo dividido finamente	algo de sílice en solución carbonatos de Fe y Mg (solubles)

Fuente. VELASCO, I. Esmeralda. Manual de laboratorios mecánica de suelos.

4.6 NIVEL FREÁTICO

El agua se infiltra a través de la superficie del suelo y luego se mueve verticalmente hasta encontrar una capa impermeable que no permite el paso y obliga a la formación de un almacenamiento de agua en los espacios vacíos del suelo. El límite superior de este almacenamiento se denomina nivel freático¹.

Los ríos intermitentes conducen agua la mayor parte del tiempo, como resultado del escurrimiento superficial y el aporte aguas subterráneas. En verano, el escurrimiento superficial desaparece en algunos tramos de la cuenca o se “esconde” como dicen los nativos de la zona. Estudios realizados en otras cuencas similares demuestran que el nivel freático se ubica por debajo del lecho del río (Vidal-Abarca, col. 2002).

¹ <http://www.geocities.com/gsilvam/hidrologia.htm>

5. METODOLOGÍA

5.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

5.1.1 Localización. La quebrada Potrerillo, es un afluente del río Patía, ubicada en el sur del departamento del Cauca, municipio El Bordo, corregimiento Patía (Figura 2)

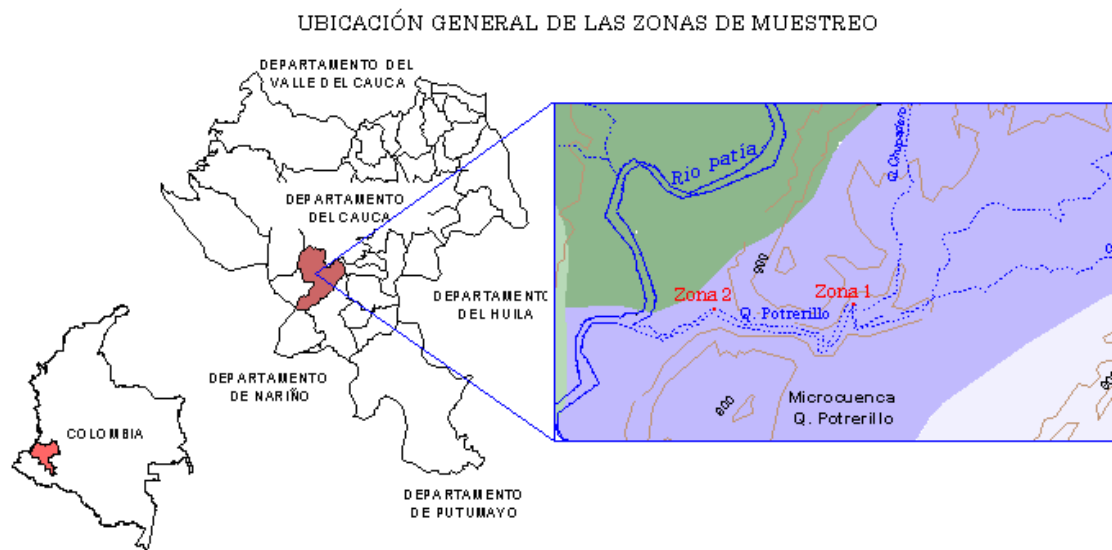


Figura 2. Localización Quebrada Potrerillos- Municipio El Bordo (Patía). Fuente: Asociación supra departamental de municipios de la región del alto Patía (Asopatía) 2006.

La zona de investigación, corresponde a la zona de vida transicional entre el bosque húmedo-Premontano (bh-PM) y el bosque seco-Basal Tropical (bs-BT) (Holdridge, 1978), con climas cálido a seco. Con altitudes en su parte baja de 580 msnm y en la parte alta con una altitud mayor 720 msnm, está conformado por terrazas aluviales onduladas en marcadas por las cordilleras Central y Occidental, perteneciendo al flanco oriental de la cordillera Occidental (Lemus, 1990).

5.1.2 Descripción de las Zonas de Muestreo. La quebrada Potrerillo es una corriente de cuarto orden de aguas claras (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2002). Presenta drásticas variaciones en el flujo de la corriente en relación con el régimen pluviométrico, durante la época seca el ancho del cauce se reduce progresivamente hasta no presentar flujo de agua continuo y dejando visibles algunos pozos aislados. Por el contrario durante la época de lluvias se presentan fuertes crecidas, “lavando” en la mayoría de los casos el sustrato y lo que sobre el florece, como consecuencia, durante los periodos de bajo flujo y bajos niveles de agua, la proporción de materiales orgánicos, particularmente, las hojas, es temporalmente hasta la época de lluvias abundantes, durante las cuales son transportadas por la corriente hacia las partes medias o bajas de la corriente.

Zona 1: Conocida como quebrada San Pedro ya que en este punto la quebrada pasa por la vereda del mismo nombre, con una ubicación de 2° 07' 47.7" N y 77° 00' 41.8" W y 700 msnm (Figura 3)

El subpaisaje y la pendiente son típicas de suelo tipo ladera estructural, levemente inclinada con erosión. El margen del cauce fluvial está cubierto por un bosque de ribera, en donde predominan las especies arbóreas *Acacia famesiana* y *Achatocarpus nigricans*, que ofrecen aproximadamente 85% de cobertura vegetal y un gran aporte de hojarasca, las herbáceas *Cnidoscolus tubulosus* y *Gliricidia sapium* y las gramíneas *Rhynchelytrum repens* y *Bouteloua sp.*, consideradas como la principal vegetación ribereña.

El bosque en esta zona está rodeado por potreros utilizados para la ganadería, a su vez la quebrada es la única fuente que tiene el ganado para tomar agua (bebederos), por esta razón en periodos de sequía el ganado se debe cambiar de sitio.

Teniendo cuenta las características del suelo este está compuesto por rocas de mediano tamaño, principalmente por cantos rodados y guijarros. El ancho promedio del cauce es de 13 m, presentando variaciones considerables de superficie mojada y húmeda, de acuerdo con la época pluviométrica, llegando hasta 0 m de superficie mojada en los periodos de estiaje (sequía); la profundidad alcanza hasta un metro en épocas de lluvias y 0 m en épocas de estiaje (sequía) (Figura 4).

Durante el periodo de estiaje se forman algunos pozos aislados que aunque conectados por el nivel freático, presentan grandes diferencias en las características físicas y químicas.

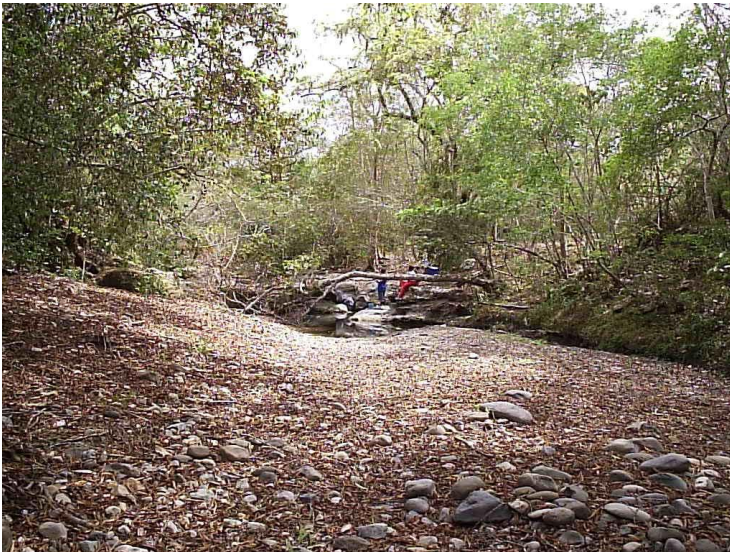


Figura 3. . Quebrada Potrerillo, sitio conocido como San Pedro (Zona 1 de muestreo parte alta del cauce) época de sequía.

Fuente: Zamora, 2006

En este sitio la quebrada recibe, afluentes pequeños como riachuelos efímeros en su mayoría y algunos intermitentes de menor importancia que no aparecen referenciados en cartografía, pero que se observaron en el sitio.

Algunas actividades antrópicas desarrolladas en la zona litoral de la quebrada están: bebederos para el ganado y recogimiento de agua para uso doméstico y agrícola (maíz, sandía, melón).



Figura 4. Quebrada Potrerillo, sitio conocido como San Pedro (Zona 1 de muestreo, parte alta del cauce) época de lluvias.

Fuente: Zamora, 2006

Zona 2: Está ubicada en el tramo final del cauce y comprendida en la parte baja de la cuenca a 2Km de la desembocadura en el río Patía, georeferenciada a 2° 06' 17.1" N y 77° 04' 13.6" W y 613 msnm (Figura 5).

El paisaje es típico de un valle aluvial con plano de inundación de río meandrónico.

El margen izquierdo está cubierto parcialmente por un bosque de ribera en donde predominan *G.ulmifolia* y *Cephalocereus sp.*, las cuales aportan en promedio 20% de sombrío y poca hojarasca. En el margen derecho, la vegetación ribereña consta de matorrales caracterizados por un estrato arbustivo y arbóreo bajo (2 a 4m) de carácter subxerofítico; el cauce corre junto a una carretera en algunas partes y otras junto a los potreros. En cuanto al sustrato está compuesto en mayor proporción por cantos rodados y guijarros de mediano tamaño igual que en la zona 1.



Figura 5. Quebrada Potrerillo (Zona 2 de muestreo, parte baja del cauce) época de lluvias.

Fuente: Zamora, 2006



Figura 6. Quebrada Potrerillo (Zona 2 de muestreo, parte baja del cauce) época de sequía.

Fuente: Zamora, 2006

5.1.3 Actividades agropecuarias. En general se observan en las zonas de estudio, varias actividades agrícolas de subsistencia como son los cultivos de: plátano, maíz, cacao, yuca, algodón y algunos cultivos frutales más representativos como sandía, maracuyá, zapallo y papaya los cuales dependen en los meses secos del agua subterránea que se extrae por sistemas de bombeo.

La ganadería se distribuye a nivel extensivo en la mayoría de las fincas, y a nivel intensivo en algunas pocas haciendas aisladas, los bebederos están constituidos principalmente por lagunas y por las quebradas y riachuelos.

5.1.4 Geología general. Según Torres y colaboradores, la unidad geológica del área de estudio para la prospección de aguas subterráneas, son las rocas vulcanosedimentarias de la formación Galeón de Edad Terciaria Superior-Cuaternario. Se caracterizan por formar colonias bajas, suaves y onduladas que sobresalen solo 5 m sobre el valle y que pueden confundirse con terrazas. Están constituidas por intercalaciones de ceniza, arcillositas, areniscas blancas, areniscas conglomeráticas, y areniscas con pómez redondeadas cuyo diámetros

varían entre 0.5 cm y 5 cm. Depósitos de llanuras aluviales y terrazas: Estos depósitos constituyen aluviones y terrazas, asociados al río principal Patía y sus afluentes, como la quebrada Potrerillo; están constituidos esencialmente por arenas, arcillas y gravas con cantos redondeados cuyo tamaño alcanzan hasta 30cm de diámetro. Las arenas son esencialmente de cuarzo, contienen además feldespatos, anfíboles y minerales pesados destacando la magnetita. Las gravas están compuestas por fragmentos líticos de andesitas, basaltos, diabasas, gabros, esquistos, cuarzos y dacitas en menor proporción (Torres y col., 1992).

5.1.5 Vegetación natural. La vegetación natural en la región ha sufrido un dramático proceso de deforestación, esta representada por pequeños relictos localizados generalmente a las orillas de los cursos de agua. El tipo fisiológico corresponde a la zona de transición anteriormente definida. La vegetación de acuerdo con los remanentes existentes, alcanza una altura promedio de 20 m, sobresaliendo árboles como la ceiba (*Ceiba pentandra*) y samanes (*Samanea saman*). El sotobosque está constituido por arbusto y hierbas espinosas típicamente xerofíticas (Torres y col., 1992).

Entre las especies vegetales más comunes tenemos: Pelá (*Acacia farnesiana*) Limonacho (*Achatocarpus nigricans*), Cadillo (*Achyranthes aspera*), Bledo (*Amarantus dubius*), Caracolí (*Anacardium excelsum*), Guayacán (*Bulnesia arborea*), Pringamosa (*Cnidoscolus tubulosus*), Uña de gato (*Fagara pterota*), y pastos como *Bouteloua sp.* y *Rhynchelytrum repens*, Totumo (*Crescentia cujete*), Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), Mata raton (*Gliricidia sepium*) y Almendros (*Terminalia catapa*) (Fernández y Fernández, 1992).

5.2. MUESTREO Y TRATAMIENTO DE LOS PÁRAMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA.

Los muestreos se realizaron mensualmente, durante 12 meses. En la tabla 4 se presentan las variables físicas y químicas, los materiales y los métodos utilizados para su medición. tanto en la zona 1, como en la zona 2, en relación con las épocas hidrológicas de la zona, distribuidas de la siguiente manera:

- Enero y Febrero: Lluvia escasa
- Marzo a Mayo: Lluvia moderada
- Junio a Octubre: Sequía
- Noviembre y Diciembre: Lluvia abundante

5.2.1 Análisis de las variables Físicas y Químicas. Para la medición de las variables físicas y químicas se tomaron muestras compuestas de tres puntos en el área transversal del lecho y posteriormente se realizó un aforo mensual, en cada zona de muestreo (zona 1 y zona 2). Para la medición de algunos parámetros químicos, se tomó un litro de agua en botellas plásticas, las cuales fueron etiquetadas, almacenadas y refrigeradas para el transporte hasta el laboratorio.

La metodología de las variables físicas y químicas se realizaron mediante el método estándar (APHA,1992)

Tabla 4. Variables físicas y químicas medidas en cada muestreo.

Variables	Unidad	Material y/o Método
Pluviosidad	Mm	Pluviómetro
Caudal	m ³ /s	Molinete
Temperatura del agua	°C	Termómetro
Conductividad	µmhos/cm	Conductímetro
Turbiedad	NTU	Espectrofotométrico
Oxígeno disuelto	mg/l	Oxímetro
Dióxido de carbono	mg/l	NaOH y fenolftaleína
pH	---	pH-metro
Dureza total y Carbonacea	mg CaCO ₃ /l	Kit Merck
Amonio	mg/l	Kit Merck
Nitritos	mg/l	Kit Merck
Nitratos	mg/l	Kit Merck
Fósforo	mg/l	Espectrofotométrico

Para determinar si existían diferencias significativas entre las características físicas y químicas de las zonas de muestreo debido a cambios espaciales y temporales, se aplicó un análisis discriminante, en el que cada uno de los grupos fue cada una de las zonas diferenciando las cuatro épocas hidrológicas para cada una de ellas, incluyendo en cada zona todos los muestreos realizados en el tiempo. Este análisis discriminante no solo permitió determinar si existían diferencias significativas entre las zonas, si no también identificó los parámetros físicos y químicos responsables de estas posibles diferencias.

Adicionalmente, mediante las pruebas de Kruskal-Wallis y Chi cuadrado se corroboró la significancia de los parámetros que marcan las diferencias entre las zonas y las épocas pluviométricas.

5.2.2 Análisis del Nivel Freático. Este parámetro se registró únicamente en la época seca o con caudal cero, mediante pozos de observación que consistió en

una perforación vertical en el perfil, practicada hasta el hidroapoyo. Utilizando un tubo PVC, con un diámetro de 7.5 cm, (Arias, 1991).

El análisis del comportamiento del parámetro en mención en la quebrada Potrerillo se hizo mediante gráficos (hidrogramas), que reflejan las variaciones del nivel freático respecto al tiempo. Realizando 4 muestreos por mes.

5.2.3 Análisis de Suelos. Para el análisis de suelos, se realizaron dos muestreos en la época de lluvia abundante y de sequía, en cada uno de los sitios de estudio. De forma superficial o a cielo abierto, mediante excavaciones, con área de 50 X 50cm con una profundidad de 10 cm (Illera, 1998).

Las mediciones de los diversos parámetros evaluados (Calcio, Magnesio, Potasio, Fosforo, Amonio y Textura), se hicieron sobre extracto acuoso de saturación de suelo; en el laboratorio especializado SERVIQUIMICA (Servicios Químicos Industriales del Cauca).

Determinación de bases: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), y Potasio (K): se realizó sobre el extracto de saturación del suelo mediante la técnica de absorción atómica.

Determinación de fosforo (P): la determinación se realizó mediante colorimetría por el método de Bray II.

Determinación de Amonio (NH_4): se realizó mediante la reducción selectiva del Oxido de Magnesio en ausencia de iones Nitrito y posterior evacuación del sistema mediante arrastre por vapor hacia una trampa de ácido Bórico para la formación del Barato de Amonio. También realizado en el laboratorio especializado SERVIQUIMICA.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{mhos/cm}$): se determinó mediante una celda de conductividad previamente calibrada. La lectura fue compensada a 25 °C.

Potencial de Hidrogeno pH: se determinó eléctricamente mediante un electrodo de Plata – cloruro de Plata previamente calibrado. La lectura fue compensada a 25 °C.

Porcentaje de saturación: se determina gravimétricamente luego de llevar una porción de la muestra de suelo a saturación con agua. El punto de dicha saturación es característico para la determinación en mención.

Determinación de arena y arcilla: se realizó directamente sobre la muestra de suelo conforme a la metodología de el densímetro de Buyoucos de acuerdo a la normatividad de la U.S.D.A. (Agricultura Department of United States).

Determinación del limo: se determinan por deducción mediante la diferencia del total de partículas (100%) menos la suma de arena y arcilla halladas.

Determinación de la clase textural: es consecuencia de la relación cuantitativa entre arcillas y arenas; esta se interpola del gráfico de clases texturales preestablecido por la U.S.D.A.

5.2.4 Análisis de Parámetros Climáticos. Para el análisis de los parámetros climáticos como son la temperatura ambiental, evaporación y la precipitación, se tomaron registros mensuales de las estaciones climatológicas automatizadas como: el Estrecho, la Fonda, la Mesa. Las cuales son representativas para la zona de estudio (IDEAM, 2006).

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

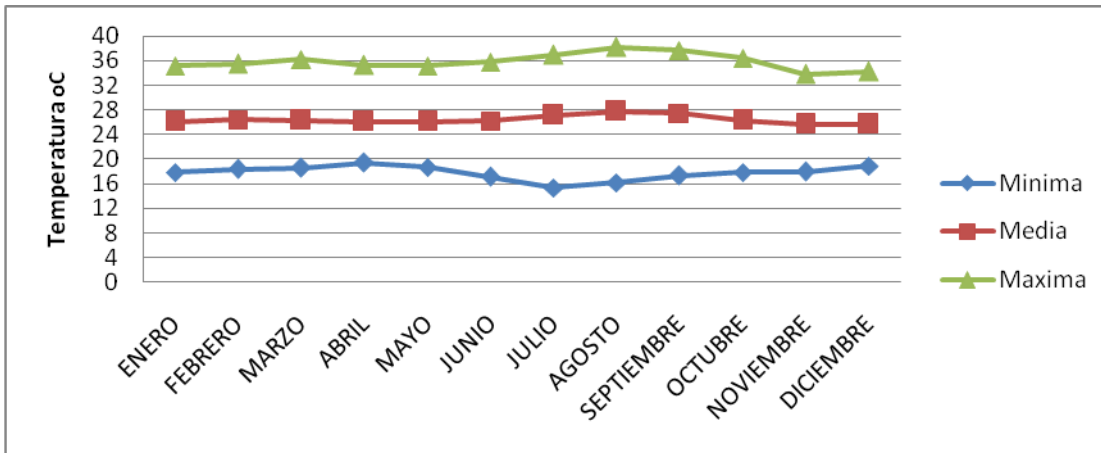
6.1. Aspectos climáticos

6.1.1 Temperatura ambiental. A continuación se presenta la información de temperatura, de la estación climatológica principal ubicada en el corregimiento de la Fonda (580msnm) la cual es representativa para la zona de investigación.

Tabla 5. Valores medios de temperatura. Estación La Fonda para el año 2006

Meses	Mínima	Media	Máxima
Enero	17.9	26.1	35.2
Febrero	18.4	26.4	35.5
Marzo	18.6	26.3	36.2
Abril	19.4	26.1	35.3
Mayo	18.7	26.1	35.2
Junio	17.1	26.2	35.8
Julio	15.4	27.1	37.0
Agosto	16.2	27.8	38.2
Septiembre	17.3	27.5	37.7
Octubre	17.9	26.3	36.4
Noviembre	18.0	25.7	33.8
Diciembre	18.9	25.7	34.2

Fuente: IDEAM (2006)



Fuente: IDEAM, 2006

Figura 7. Distribución de la temperatura. Estación la Fonda.

Las temperaturas máximas están en el rango de 33 a 38 °C siendo Agosto el mes donde se registran los valores más altos de temperaturas. Una temperatura media máxima de 27 °C y una mínima de 19 °C, con los valores más bajos en el mes de julio.

6.1.2 Evaporación. La máxima evaporación en mm, registrada por la estación La Fonda, se presenta para los meses de Julio a Agosto con valores máximos entre 164.8 y 210 respectivamente (tabla 6).

Tabla 6. Registros mensuales de evaporación (mm) tomados de la estación climatológica la Fonda

Meses	Eva. Mínima	Eva. Media	Eva. Máxima
Enero	84.1	118.1	164.6
Febrero	88.8	113.8	141.7
Marzo	83.1	113.8	153.2
Abril	85.4	111.5	133.7
Mayo	85.4	106.1	129.7
Junio	51.4	114.5	164.8
Julio	66.9	124.5	179.3
Agosto	69.8	140.9	210.0
Septiem.	39.0	132.4	178.8
Octubre	91.8	91.8	124.3
Noviem.	56.0	56.0	106.0
Diciem.	48.5	112.5	140.0
Anual	850.27	1335.9	1826.1

Fuente: IDEAM

Con estos registros se corrobora la alta evaporación de la zona estudiada que puede ser una causa de disminución del flujo hídrico, junto con la textura del sustrato (arenosa) (tabla 20) lo que permite que el agua se infiltre con una mayor facilidad.

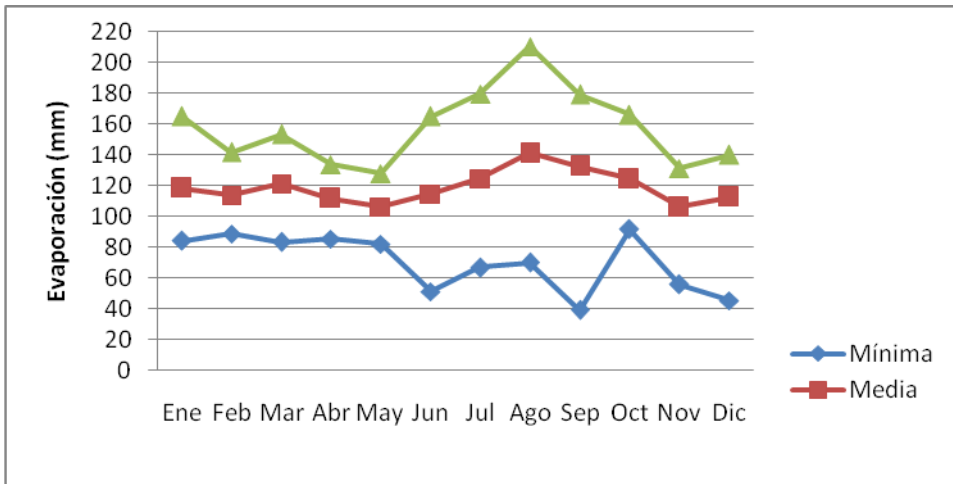


Figura 8. Distribución de la evaporación

Fuente: IDEAM

La figura 8 muestra que la mayor evaporación en la zona de estudio se presenta en el mes de Agosto, con 210 mm y la menor en el mes de noviembre con un registro de 106 mm.

6.1.3 Precipitación. De acuerdo con los datos de las estaciones meteorológicas de la Fonda (580 msnm) y El Estrecho (720msnm) que se consideran representativas para el área de estudio y con unos registros históricos desde 1979 hasta el 2006, que confirman que el régimen de lluvias anual es bimodal, con un periodo lluvioso que va de Octubre a Diciembre y de Marzo a Mayo, excepción en el mes de Octubre es el mes seco con una precipitación media de 90 mm, este caso se le atribuye al fenómeno del Niño para este año. Siendo el mes más lluvioso Noviembre con un promedio de 257 mm. El periodo seco corresponde a los meses de junio a septiembre, siendo el mes menos lluvioso Julio con un promedio de 43 mm (IDEAM, 2006) (Tabla 7)

Tabla 7. Valores medios mensuales de precipitación (mm) de las estaciones cerca al área de estudio. Registros históricos desde 1979 hasta el 2006

Meses	Estación la Fonda mm	Estación el Estrecho mm
Enero	170	114
Febrero	181	94
Marzo	208	105
Abril	194	133
Mayo	194	113
Junio	79	44
Julio	43	28
Agosto	58	33
Septiembre	90	88
Octubre	203	152
Noviembre	290	225
Diciembre	226	160
Prom. anual	161	98

Fuente: IDEAM, 2006

La estación la Fonda indica una distribución de lluvias bimodal, con un periodo lluvioso que va de Octubre a Diciembre y de Marzo a Mayo, siendo el mes más lluvioso Noviembre con un promedio de 290 mm (1970-2006). El periodo o estación seca corresponde a los meses de Junio a Septiembre, registrando como mes menos lluvioso Julio con 43 mm (Figura 9).

La estación El Estrecho también indica una distribución de lluvias bimodal, con un período lluvioso que va de octubre a diciembre y de marzo a mayo, siendo el mes más lluvioso noviembre con un promedio de 225 mm (1970-2006). El periodo o estación seca corresponde a los meses de Junio a Septiembre, siendo el mes menos lluvioso Julio con 43 mm (Figura 9).

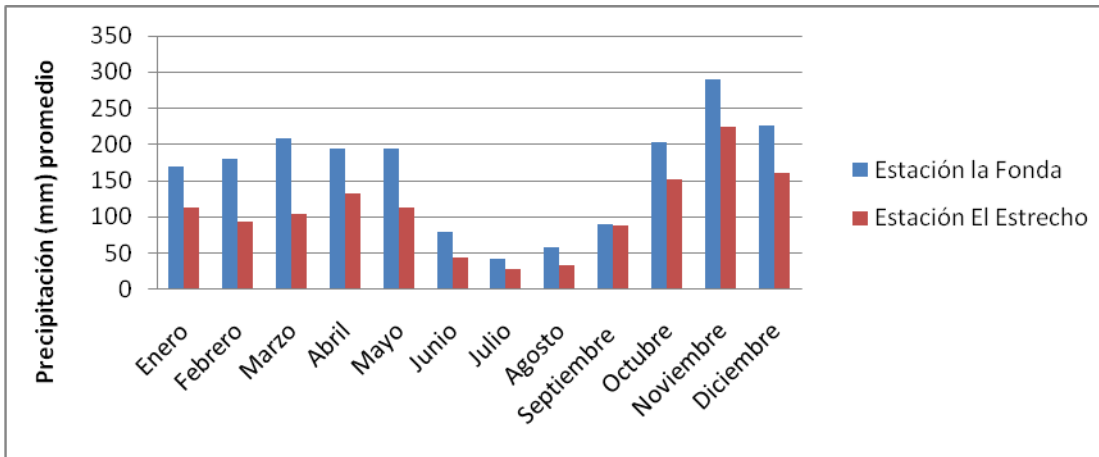


Figura 9. . Distribución de la precipitación media mensual. Estación la Fonda y El Estrecho.

Fuente: IDEAM, 2006

6.2. Hidrología.

6.2.1 Caudal y Precipitación. Tanto espacial como temporalmente, la quebrada Potrerillo experimenta cambios en relación con el flujo de agua, el ancho activo (ancho húmedo) y el caudal (tabla 8), en relación directa con los cambios pluviométricos (Figura 9). Estos cambios entre zonas de muestreo, representan el comportamiento longitudinal de la quebrada, lo cual se determinó a través de un análisis discriminante, mediante la formación de 8 grupos, con base en los sitios de muestreo y las temporadas de lluvia y verano de la siguiente forma:

Grupo 1: Zona 1, Enero y Febrero (época de lluvia escasa)

Grupo 2: Zona 2, Enero y Febrero (época de lluvia escasa)

Grupo 3: Zona 1, de Marzo a Junio (época de lluvias moderadas)

Grupo 4: Zona 2, de Marzo a Junio (época de lluvias moderadas)

Grupo 5: Zona 1, de Julio a Octubre (sequía)

Grupo 6: Zona 2, de Julio a Octubre (sequía)

Grupo 7: Zona 1, Noviembre y Diciembre (Lluvias abundantes)

Grupo 8: Zona 2, Noviembre y Diciembre (Lluvias abundantes)

En comparación con los datos de las estaciones meteorológicas de la Fonda (580 msnm) y El Estrecho (720msnm), pueden diferenciarse cuatro periodos de lluvia de acuerdo con la intensidad del evento: 1. Lluvias escasas (Enero y Febrero); 2. Lluvias moderadas (de Marzo a Junio); 3. Sequía (de Julio a Octubre) y lluvias abundantes (Noviembre y Diciembre). Se debe mencionar que el período comprendido entre Septiembre y finales de Octubre, estos meses considerados históricamente como períodos de lluvias abundante, durante el año 2006 presentaron características hidrológicas de sequia, como resultado del fenómeno del Niño (IDEAM, 2006).

Tabla 8 . Valores mensuales de caudal, ancho total y ancho activo registrados en la (a) zona 1 y (b) zona 2

Meses de Muestreo	Caudal (L/s)		Ancho total del cauce (m)		Ancho activo (m)	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Ene	25	14	13	13.69	10	12.5
Feb	25	12	13	13.69	9.5	11.8
Mar	28	16	13	13.69	8.5	10.2
Abr	35	15	13	13.7	8	8.4
May	30	18	13	13.69	7.6	6.5
Jun	22	15	13	13.69	6	5.39
Jul	17	9.59	13	13.69	1.2	2
Ago	14	0	13	13.69	0.9	1.5
Sep	0	0	13	13.69	0	0
Oct	9.8	0	13	13.69	1	0.3
Nov	78.7	51	13	13.69	5.7	7.13
Dic	200	290	13	13.69	8.2	9.6
Promedio anual	40.37	36.71	13	13.69	5.55	6.27

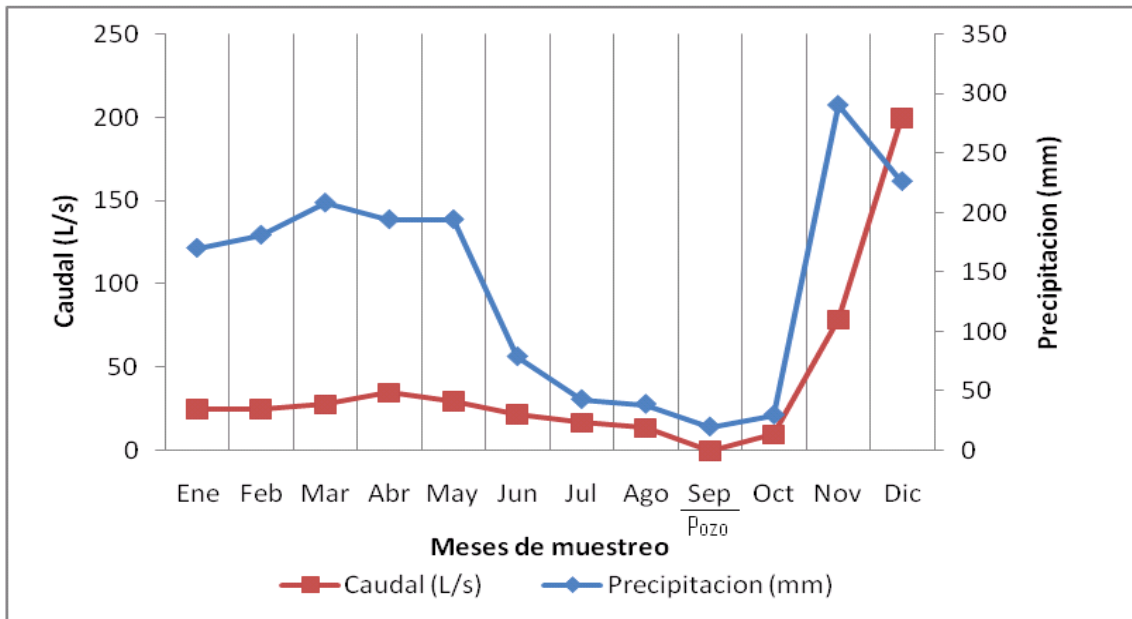
Se aprecian diferencias entre zonas con respecto al caudal. En la zona 1 se registraron valores entre 9.8 y 200 L/s y en la zona 2 valores entre 9.59 y 290 L/s.

Es importante mencionar que en la zona 1 se obtuvieron valores mayores de caudal durante casi todo el ciclo anual, a excepción en el mes de diciembre, donde se obtuvo en la zona 2 (290 L/s) (Tabla 8).

Como consecuencia de los registros menores en la zona 2 se le atribuye el aumento en el ancho del cauce, a la infiltración del flujo hídrico en el recorrido, teniendo en cuenta que la textura del suelo que es arenosa, a la baja cobertura vegetal que se observa en esta zona, la cual permite que los rayos del sol penetren directamente sobre el sitio en mención, ocasionado así una mayor evaporación. Una posible explicación de los registros de aforo obtenidos en el mes de Diciembre; mes de lluvia abundante lo que permitió el afloramiento de varios arroyos que favorecen el caudal en esta zona.

También es de gran importancia decir, que durante el mes de Septiembre, para la zona 1; y los meses de Agosto, Septiembre y Octubre en la zona 2 no se hicieron aforos debido a que el sistema no presentó escorrentía superficial. La causa de dicho comportamiento se le atribuye a la carencia de precipitación que en los meses ya mencionados (Figura 10 a, b). La medición de los parámetros fisicoquímicos hídricos se realizó en pozos formados, en las zonas de estudio.

(a)



(b)

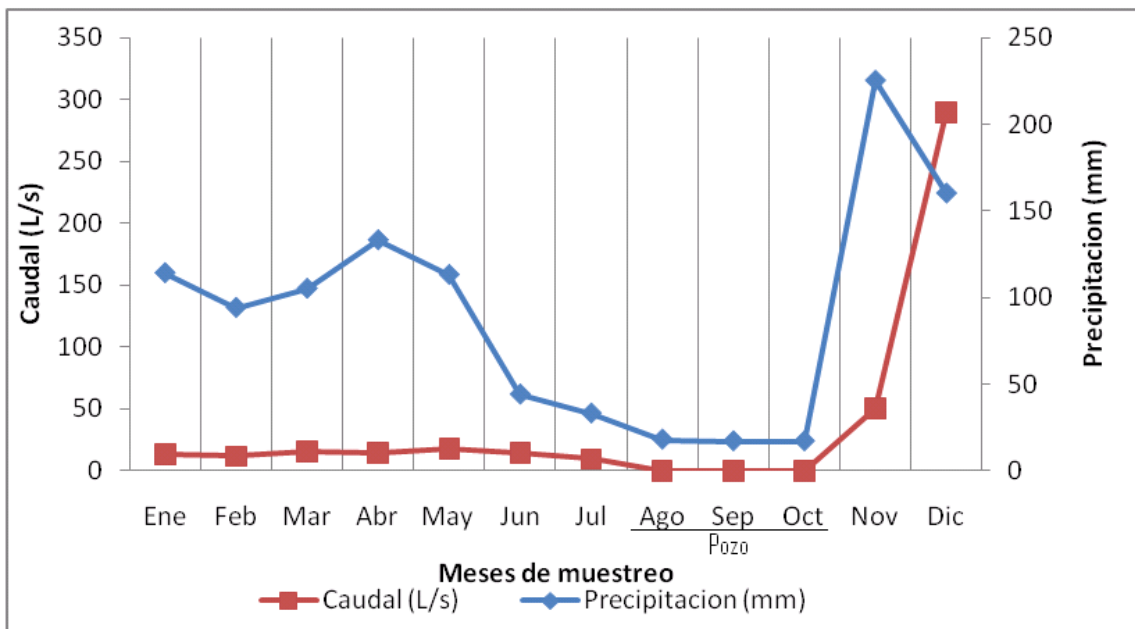


Figura 10. Variación temporal de la precipitación y del caudal para el año 2006, en la quebrada Potrerillos. (a) Zona 1, (b) zona 2.

En la Figura 10 en las zonas 1 y 2 se observa una alta precipitación (79mm-208mm) entre los meses de Enero a Junio, con unos niveles muy bajos de caudal (22L/s-35L/s), para estos meses. Una posible explicación para este fenómeno puede ser la alta tasa de evaporación registrada (Tabla 6) en la estación la Fonda; también a este fenómeno se le puede atribuir el tipo de suelo arenoso de la zona, el cual permite una alta infiltración (tabla 19).

Tabla 9. Valores medios mensuales de evaporación (mm) registrados en la estación la Fonda

Meses	Mínima(mm)	Media(mm)	Máxima(mm)
Enero	84.1	118.1	164.6
Febrero	88.8	113.8	141.7
Marzo	83.1	121.0	153.2
Abril	85.4	111.5	133.7
Mayo	82.1	106.1	127.7
Junio	51.4	114.5	164.8
Julio	66.9	124.5	179.3
Agosto	69.8	140.9	210.0
Septiembre	39.0	132.4	178.8
Octubre	91.8	124.3	165.9
Noviembre	56.0	106.0	131.0
Diciembre	48.5	112.5	140.0
Prome. anual	70.5	118.8	157.5

Tabla 10. Valores mensuales de temperatura ambiental y temperatura hídrica registrados en la (a) zona 1 y (b) zona 2

Meses de Muestreo	Temperatura ambiental (°C)		Temperatura hídrica (°C)	
	(a)	(b)	(a)	(b)
	Ene	29	29	26
Feb	27	28	25	27.5
Mar	29	33	26	29
Abr	27	29	24	27
May	26	29	22	26
Jun	27	29	24	26.2
Jul	29	32	23.5	27
Ago	28	30	23.8	32
Sep	31	34	27	32
Oct	30	32	27	32
Nov	26	29	23.5	26
Dic	32	33	29	29.5
Prom. Anul	28.6	30.6	25	28.4

La temperatura ambiental osciló entre 26.0 y 34.0 °C (x: 29.3 °C), esta variable es de gran importancia ya que de ella depende la energía que llega a los ecosistemas acuáticos y terrestres (Roldan, 1992); estos registros son correspondientes a un piso térmico cálido dada la ubicación geográfica y la altitud del sistema. La temperatura hídrica fluctuó entre 22.0 y 32.0 °C (x: 26.70 °C) a lo largo del trayecto los valores más altos se registraron en los pozos formados en la zona 2 durante los meses de Julio, Septiembre y Octubre (32 °C) (Figura 11).

Tabla 11. Valores mensuales de la variable oxígeno

Meses de muestreo	Zona 1	Zona 2
Enero	6.0	6.4
Febrero	6.1	6.1
Marzo	5.5	5.4
Abril	5.8	6.0
Mayo	6.5	6.2
Junio	6.1	6.5
Julio	4.9	8.3
Agosto	6.2	6.2
Septiembre	2.5	2.0
Octubre	4.0	2.5
Noviembre	4.0	3.3
Diciembre	4.8	5.5
Promedio anual	5.2	5.4

Las concentraciones de oxígeno disuelto en ambas zonas se registraron entre 2.0 y 8.3 mg/L; con promedios de: 5.0 mg/L en la zona 1 (figura 11a), y 5.2 mg/L en la zona 2 (figura 11b). El porcentaje promedio de saturación de oxígeno (relación entre la concentración de oxígeno disuelto y temperatura hídrica) en la Zona 1 y Zona 2 fue 61.9 y 66.4% respectivamente, porcentajes que se encuentran por debajo del 80%, valor considerado como “mínimo óptimo” para el normal desarrollo de muchos macroinvertebrados y peces (Wetzel, 2001; Roldán, 1992).

Se notan diferencias entre las concentraciones de oxígeno disuelto medido en los rápidos y en los pozos; en la Zona 1, de Enero a Agosto el promedio de oxígeno es de 5.8 mg/L (71.5% saturación) y entre Septiembre y Noviembre (medición en pozo) es de 3.5 mg/L (42.7 saturación) esta diferencia se relaciona con la disminución del flujo hídrico en la época seca, durante la cual, la reducción del área húmeda obligó a los organismos a concentrarse en pequeños espacios en donde la tasa de respiración fue más alta que la de producción de oxígeno,

además, conjuntamente con los macroinvertebrados en estos pozos también habitan peces como, sabaletas (*Brycon henni*), gupis (*poecilia sp.*) y diversas sardinas. El mismo comportamiento ocurre en la zona 2, entre Enero y Agosto el promedio de oxígeno disuelto es 6.5 mg/L (82% saturación) y entre Septiembre y Noviembre 2.6 mg/L (35.3% saturación), en este caso la situación es más favorable durante los primeros meses señalados, como consecuencia del abundante florecimiento de perifitón, especialmente en Julio (100% saturación), (Díaz, Ortiz, 2008) cuando el nivel del agua en los rápidos es más bajo y la penetración lumínica mayor.

El tensor producido por la cantidad de Oxígeno disuelto es más crítico durante los últimos meses del año, debido a la formación de los pozos en los cuales aumentó la acumulación de materia orgánica en descomposición.

En el mes de Julio en la zona 2 se registró un valor de oxígeno disuelto de 8.3 mg/L, esta concentración posiblemente se debió al alto florecimiento de perifiton lo cual favorece el proceso fotosintético, esto con la ayuda de la penetración lumínica total debido a la baja profundidad del sistema.

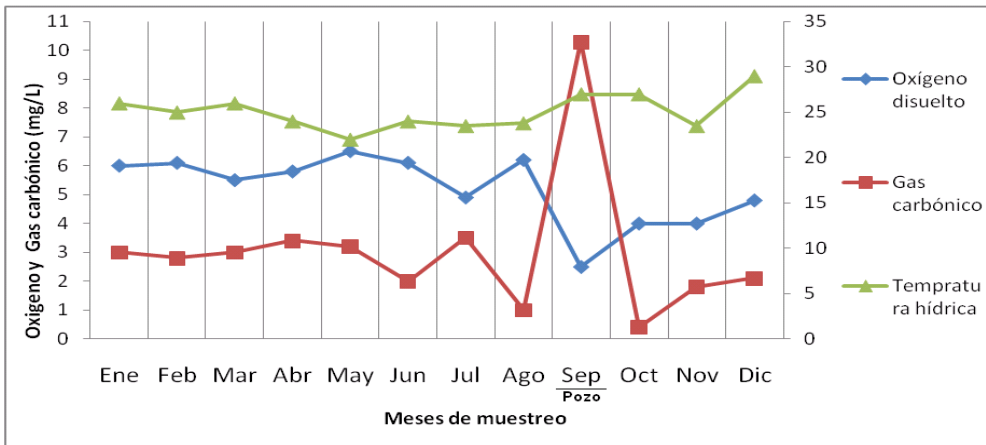
En general en la zona 2 hay disminución de CO₂ e incremento de O₂ en los meses de menor flujo hídrico, a esto se la atribuye la explicación anterior.

Tabla 12. Valores mensuales de la variable CO₂

Meses de muestreo	Zona 1	Zona 2
Enero	3.0	3.2
Febrero	2.8	4.0
Marzo	3.0	4.7
Abril	3.4	3.8
Mayo	3.2	3.6
Junio	2.0	2.0
Julio	3.5	0.0
Agosto	1.0	1.0
Septiembre	10.3	2.1
Octubre	0.4	2.1
Noviembre	1.8	4.3
Diciembre	2.1	4.3
Promedio anual	3.0	2.9

Los registros de gas carbónico disuelto (CO₂) en la Zona1 variaron entre 0.4 y 10.3 mg/L (x: 3.1 mg/L) (Figura 11a) y en la Zona2 se registraron entre 0 y 4.7 mg/L (x: 2.6 mg/L) (figura 11b); la concentración 10.3 mg/L de CO₂ se registró en Septiembre, en la Zona1 (tabla 12), posiblemente como consecuencia de la alta tasa de respiración producida por organismos, los cuales fueron obligados a concentrarse en pequeñas pozas; a este fenómeno también se le puede atribuir la degradación de materia orgánica en estos habitats con áreas húmedas muy pequeñas (Boulton,1990). La concentración 0 mg/L de CO₂, registrada en la Zona2, se presentó en Julio en una zona de rápidos, en donde la tasa de producción de oxígeno llegó al 100% de saturación sobrepasando la tasa de respiración, este hecho puede estar causado fundamentalmente por procesos naturales de fotosíntesis de la biota acuática (abundante perifiton) encontrada en la zona. (Roldan, 1992). Estos valores encontrados no afectaron la biota acuática, según estudios de macroinvertebrados llevados a cabo en la misma época del muestreo (Longo, 2007) Por lo tanto estas concentraciones de CO₂, no se consideran limitantes para la sobrevivencia de los organismos (Roldán, 1992).

(a)



(b)

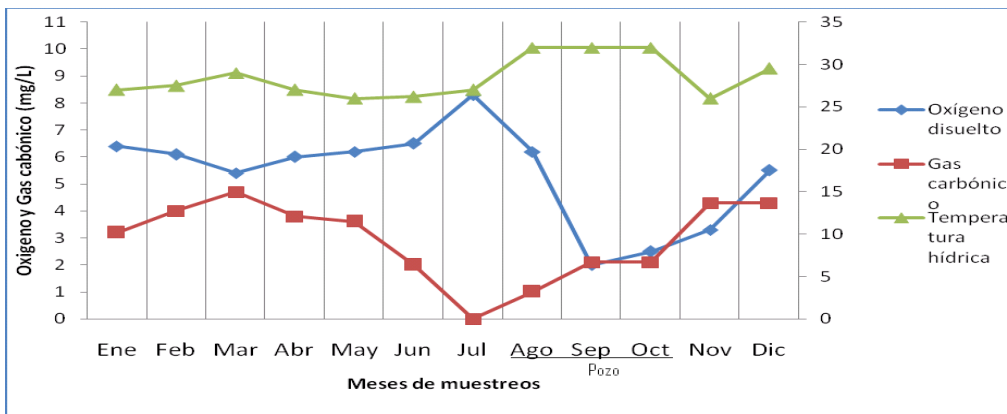


Figura 11. Cambios temporales en las concentraciones de oxígeno y gas carbónico disueltos en el agua en relación con la temperatura hídrica. (a) Zona 1, (b) Zona 2.

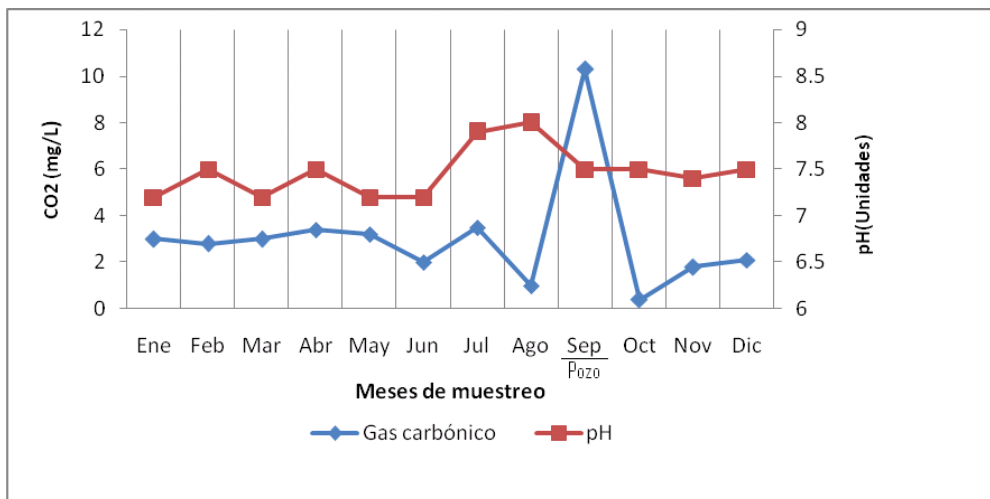
Tabla 13. Valores mensuales del gas carbónico (CO₂) y pH en la (a) zona 1 y (b) zona 2.

Meses de muestreo	Gas carbónico disuelto (CO ₂)		pH	
	(b)	(a)	(a)	(b)
Enero	3.0	3.2	7.2	8.0
Febrero	2.8	4.0	7.5	8.0
Marzo	3.0	4.7	7.2	8.2
Abril	3.4	3.8	7.5	7.8
Mayo	3.2	3.6	7.2	7.5
Junio	2.0	2.0	7.2	6.3
Julio	3.5	0.0	7.9	9.0
Agosto	1.0	1.0	8.0	7.0
Septiembre	10.3	2.1	7.5	7.5
Octubre	0.4	2.1	7.5	8.0
Noviembre	1.8	4.3	7.4	7.6
Diciembre	2.1	4.3	7.5	7.5
Promedio	3.0	2.9	7.4	7.7

En relación con el pH, existe concordancia entre los datos y los registros de CO₂, en la zona 1, donde los valores de pH oscilaron entre 7.2 y 8.0 (x: 7.4)(figura 12a); y en la zona 2 entre 6.3 y 9.0 (x: 7.7) (figura 12b). Se puede afirmar entonces, que el sistema presenta una tendencia a una condición alcalina favorable en relación con la capacidad amortiguadora del medio y que los valores de pH , se encuentran en el rango propicio para la presencia de fauna acuática.

Corroborando lo mencionado sobre el pH, con el estudio de suelos se registraron valores entre 7.50 y 8.30 para ambas zonas. Estos valores nos dan la posibilidad de decir que el suelo tiene tendencia a una condición alcalina, también mediante este estudio de suelos se puede concluir que es apto para las diversas actividades de tipo agrícola que se realizan en la zona.

(a)



(b)

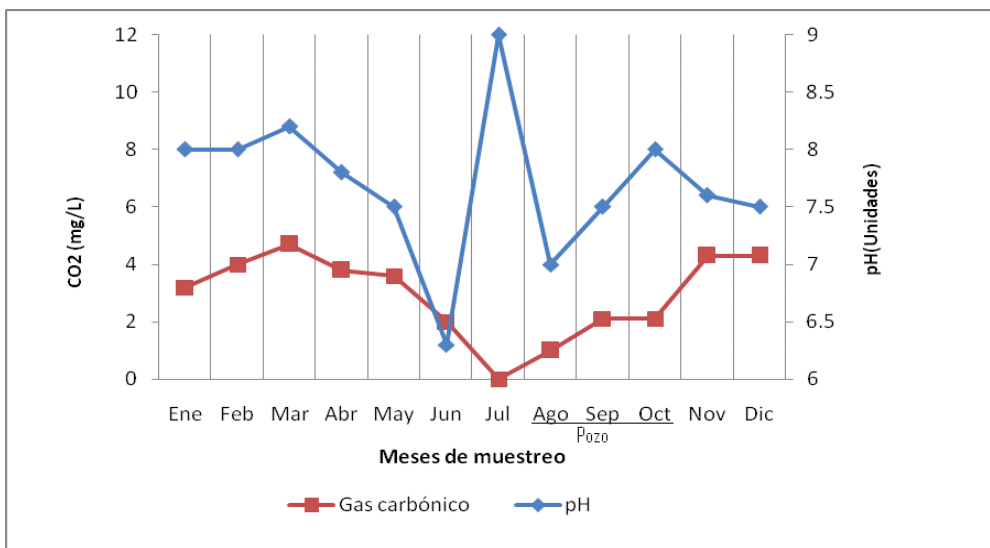


Figura 12. Cambios temporales en la concentración de gas carbónico y pH. (a) Zona 1, (b) Zona 2.

Tabla 14. Valores mensuales de conductividad ($\mu\text{mhos/cm}$) , turbidez (NTU), (a) Zona 1, (b) Zona 2

Meses de Muestreo	Conductividad		Turbidez	
	$\mu\text{mhos/cm}$		NTU	
	(a)	(b)	(a)	(b)
Ene	390	350	0	6
Feb	350	345	0	3
Mar	310	360	2	7
Abr	320	350	0	3
May	300	340	5	10
Jun	340	300	0	5
Jul	320	336	0	0
Ago	348	263	3	10
Sep	390	400	4	9
Oct	380	390	8	11
Nov	345	340	5	7
Dic	272	290	21	47
Promedio anual	339	338	4	10

Conductividad eléctrica. En la zona 1 los registros se encuentran entre 310 y 390 $\mu\text{Mhos/cm}$ (x: 339 $\mu\text{Mhos/cm}$) (tabla14a) y en la zona 2 entre 263 y 400 $\mu\text{Mhos/cm}$ (x: 338 $\mu\text{Mhos/cm}$) (tabla14b), estos valores corresponden a la presencia de iones que determinan alcalinidad (carbonatos, y bicarbonatos, principalmente) y a aquellos que resultan de la degradación de materia orgánica. Aunque no se detectaron concentraciones de salinidad, de acuerdo con el estudio de suelo se aclara la presencia y la concentración de algunos iones responsables de este parámetro, en la época de invierno y estiaje para ambas zonas tenemos Calcio (Ca) 76.80 y 92.70 ppm, esto para la zona 1, se tiene para la zona 2 65.90 y 141.40 ppm; Magnesio (Mg) 38.60 y 44.50 ppm para la zona 1; 29.60 y 78.80 ppm para la zona 2; Potasio (K) 10.29 y 7.39 ppm para la zona 1 y 4.07 y 8.00 para la zona 2 (tabla 18).

En el suelo también se evaluó el parámetro en mención, para ambas zonas tanto en época de lluvias y estiaje, dando como resultado los siguientes registros: zona 1 631,00 y 1159,00 $\mu\text{Mhos/cm}$ y 801,00 y 1396,00 $\mu\text{Mhos/cm}$ en la zona 2, (tabla 19) mediante estos resultados podemos intuir que la conductividad hídrica en su mayoría depende del sustrato.

Turbidez. Se relaciona con la cantidad de material particulado suspendida, tales como arcilla, sedimentos y partículas orgánicas. En la zona 1 los registros se encuentran entre 0 y 21 NTU (x: 4 NTU) (tabla 14a) y en la zona 2 entre 0 y 42 NTU (x: 10 NTU) (Tabla 14b).

Los mayores registros de turbiedad tanto para la zona 1 y la zona 2 se dieron en el mes de Diciembre (21 y 42 NTU), mes con el mayor registro de caudal para ambas zonas (200 y 290 L/s), a la alta concentración de turbiedad para este mes se le atribuye el arrastre de partículas, tales como arcilla y sedimentos por causa del flujo hídrico. Los registros de 0 NTU en su mayoría fueron tomados de las pozas las cuales no presentan ninguna actividad hídrica.

Tabla 15. Valores mensuales de dureza total, Carbonácea y calcio en la (a) zona 1 y (b) zona 2

Meses de muestreo	Dureza total		Dureza Carbonácea		Calcio	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Enero	300	150	120	200	14	10
Febrero	290	130	110	190	15	8.0
Marzo	110	150	120	210	16	10
Abril	190	150	120	190	20	15
Mayo	100	140	140	195	25	17
Junio	270	130	150	180	28	19
Julio	170	150	179	196	45	23
Agosto	290	250	150	190	24	16
Septiembre	490	420	120	190	25	60
Octubre	210	130	214	112	69	44
Noviembre	32	120	160	240	28	20
Diciembre	116	114	157	150	42	26
Promedio anual	214	169.5	145	187	29.2	22.3

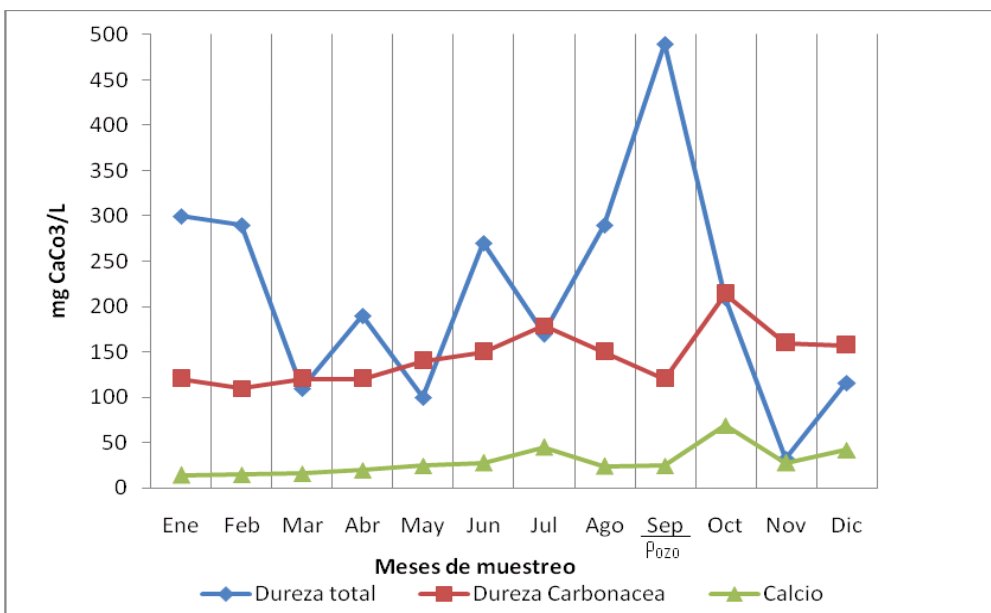
Con respecto a las Durezas Total (DT) y Carbonácea (DC), el promedio para ambos parámetros en la zona 1 fue 214 mg/LCaCO₃ de DT y 145 mg/LCaCO₃ de DC respectivamente (figura 12a) y en la zona 2 se registraron en promedio 147 mg/LCaCO₃ de DT y 190 mg/L CaCO₃ de DC (figura 13b), estos valores corresponde con los de pH, y alcalinidad, reflejando una elevada capacidad buffer.

Estos parámetros, están altamente asociados con la presencia de iones Calcio (Ca⁺⁺) y Magnesio (Mg⁺⁺). Mediante el estudio de suelos realizado en ambas zonas se corroboró la presencia de estos iones en altas concentraciones; los datos registrados en promedio para la zona 1 y 2 entre la época de lluvias y estiaje para Calcio se registró 84.75 ppm y 103.65 ppm. En cuanto a Magnesio para la zona 1y 2 tenemos 41.55 y 54.20 ppm (tabla18) respectivamente.

Estos parámetros también se relacionan con los registros de Calcio que fueron en promedio para ambas zonas 25.70 mg/L (figura 13). Es importante resaltar la

importancia de este elemento, principalmente para aquellos organismos que necesitan incorporarlo en mayores concentraciones para desarrollar así, estructuras como exoesqueletos, por ejemplo. Para este parámetro en cuanto al estudio de suelo se registro en promedio para ambas zonas una concentración de 94,20 ppm, se encuentra una gran diferencia con la concentración hídrica posiblemente debido a la utilización de este parámetro por ciertos organismos para realizar sus diferentes funciones biológicas tales como el desarrollo de estructuras.

(a)



(b)

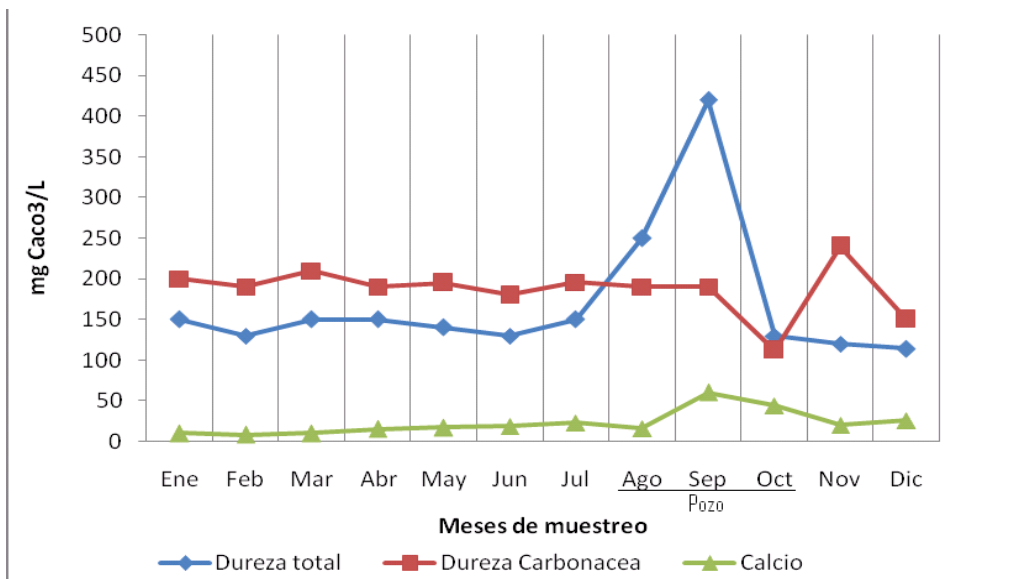


Figura 13. . Cambios temporales en las concentraciones de dureza total, dureza Carbonácea y calcio. (a) Zona 1, (b) Zona 2.

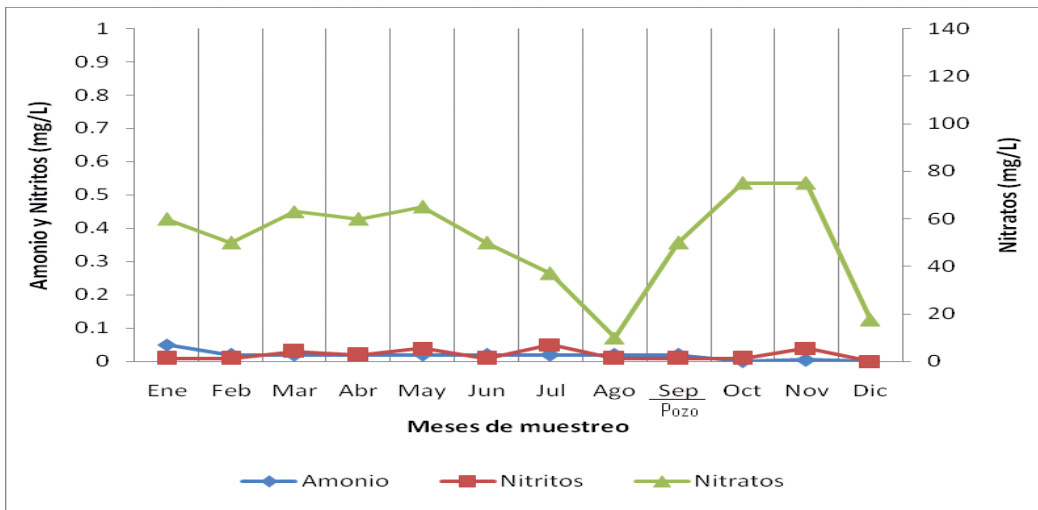
Tabla 16. Valores mensuales de amonio, nitritos y nitratos en la (a) zona 1 y (b) zona 2

Meses de muestreo	Amonio		Nitritos		Nitratos	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Enero	0.05	0.02	0.01	0.01	60	110
Febrero	0.02	0.02	0.01	0.01	50	125
Marzo	0.02	0.02	0.03	0.05	63	130
Abril	0.02	0.02	0.02	0.04	60	85
Mayo	0.02	0.02	0.04	0.05	65	90
Junio	0.02	0.02	0.01	0.05	50	70
Julio	0.02	0.02	0.05	0.06	37	22
Agosto	0.02	0.04	0.01	0.01	10	10
Septiembre	0.02	0.02	0.01	0.01	50	75
Octubre	0.0	0.01	0.01	0.03	75	60
Noviembre	0.005	0.002	0.04	0.07	75	75
Diciembre	0.0	0.01	0.0	0.0	17.5	25
Prome. Anual	0.017	0.018	0.02	0.03	51.04	73.08

Para los indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica, en ambos sitios de muestreo, se registraron valores similares de Amonio comprendidos entre 0 y 0.02 mg/L (x: 0.02 mg/L) (figura 14), reflejando procesos naturales de degradación correspondientes al ciclo del Nitrógeno (Roldán, 1992).

Igual comportamiento presentan los Nitritos, cuyas concentraciones oscilaron entre 0.01 y 0.06 mg/L (x: 0.03) (figura 14). En cambio, los Nitratos si presentaron variación entre los sitios de muestreo, en la zona 1 fluctuaron entre 10 y 75 mg/L (x: 52 mg/L) (figura 14a) y en la zona 2 entre 10 y 125 mg/L (x: 75 mg/L) (figura 14b). Estos registros permiten suponer que el sistema ofrece condiciones aérobicas propicias para el desarrollo del ciclo del nitrógeno, facilitando la acción bacteriana aeróbica, reintegrando así iones que forman parte integral de los niveles tróficos (Odum, 1994).

(a)



(a)

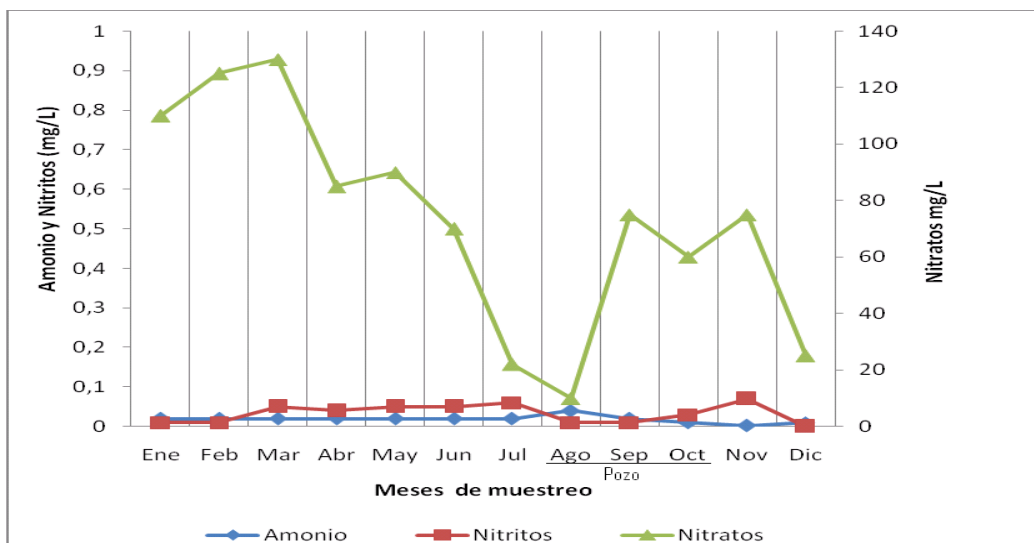


Figura 14. Cambios temporales en las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos. (a) Zona 1, (b) Zona 2.

Como conclusión general y con base en los referentes bibliográficos se considera que la quebrada potrerrillo es un sistema mesotrófico la mayoría de tiempo, ya que durante la época seca, cuando el nivel del agua en los rápidos es más bajo se mantiene condiciones óptimas de algunos parámetros tan importantes como el oxígeno disuelto y la temperatura hídrica.

También se debe mencionar que en el momento en que se forman las pozas algunos parámetros como el oxígeno tienden a disminuir su concentración y sucede lo contrario con parámetros como la conductividad, dureza total y dióxido de carbono, en donde estos aumentan su concentración; estas diferencias son dadas posiblemente por el arrastre de muchas partículas en los periodos de flujo constante y por otro lado la comulación de materia orgánica y organismos ya mencionados en el momento en que se forman las pozas.

6.2.2 Nivel freático. Es de importancia mencionar que el parámetro en mención se evaluó en la quebrada Potrerillo, en los meses donde no se hizo registro de caudal por causa de la sequía, estos meses equivalen a Septiembre para la zona 1 y los meses de Agosto, Septiembre y Octubre para la zona 2.

Para la realización del anterior parámetro se instaló un pozo de observación periódico, en el lecho de la quebrada a una profundidad de 2 m.

Tabla 17. Datos del nivel freático de la zona 1 y zona 2

Meses	Nivel Freático(m)									
	Zona 1. Muestreos				Zona 2. Muestreos				Promedio mensual	
Enero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Junio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Julio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0.40	0.46	0.57	0.575	0	0.501
Septiembre	0.50	0.66	0.68	0.686	0.82	0.96	1.3	1.12	0.631	1.05
Octubre	0	0	0	0	1.2	1.7	1.4	1.3	0	1.4
Diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Los valores designados como 0 son meses donde existió flujo hídrico y fue posible realizar con normalidad la medición de caudal, por lo cual no se hizo la medición del nivel freático.

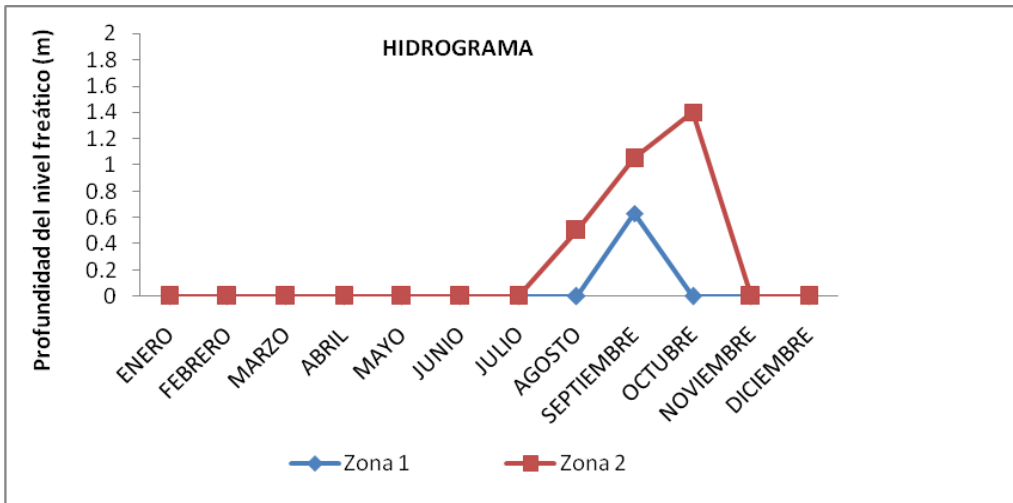


Figura 15. Hidrograma que muestra la fluctuación en un ciclo anual del nivel freático en la quebrada Potrerillo.

Los registros de nivel freático en la zona 1 variaron entre 0.50 y 0.68 m (x: 0.63 m) y en la zona 2, entre 0.40 y 1.7 m (figura 15), el mayor dato de nivel freático se realizó en la zona 2 en el mes de Octubre (1.7 m), siendo este uno de los meses con el menor registros de precipitación (precipitación media 90 mm). Octubre fue uno de los meses secos en el periodo de estudio, esto pudo deberse a la ocurrencia en este período el fenómeno del niño (IDEAM, 2006).

Es de anotar que en este parámetro hubo una gran diferencia entre zonas, mientras que en la zona 2 se pudo hacer registros entre los meses de Agosto a Octubre, en la zona 1 fue posible únicamente en el mes de Septiembre (tabla 16). Esto conlleva a intuir que la zona 1, presentó un mayor flujo hídrico durante el período de estudio, a este caso se le puede atribuir características únicas que presenta esta zona como es la abundancia de vegetación ribereña, caso contrario en la zona 2 que carece de vegetación.

6.3. LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LOS SUELOS

Tabla 18. Registros edáficos de calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K), durante la época de lluvia y verano, en ambas zonas de la quebrada Potrerillo.

MUESTRA	PARÁMETRO			
	SATURACIÓN	Ca	Mg	K
	%	PPM	PPM	PPM
ZONA 1- INVIERNO	49.10	76.80	38.60	10.29
ZONA 1- VERANO	35.09	92.70	44.50	7.39
ZONA 2- VERANO	33.99	141.40	78.80	8.00
ZONA 2- INVIERNO	30.87	65.90	29.60	4.07

Durante la época de estiaje (verano) e invierno en la zona 1 se registraron algunos cationes presentes en el suelo. Los cationes de mayor concentración en la zona 1 fueron Calcio (76.80 ppm) y Magnesio (38.60 ppm) esto durante la época seca y 92.70 y 44.50 ppm durante la época de lluvia. Coincide con la zona 2 donde también los cationes de mayor concentración fueron Calcio y Magnesio con una concentración en la época de lluvia de 65.90 y 29.60 ppm, y las concentraciones de Calcio y Magnesio durante la sequía fueron de 141.40 y 78.80 ppm (tabla 18).

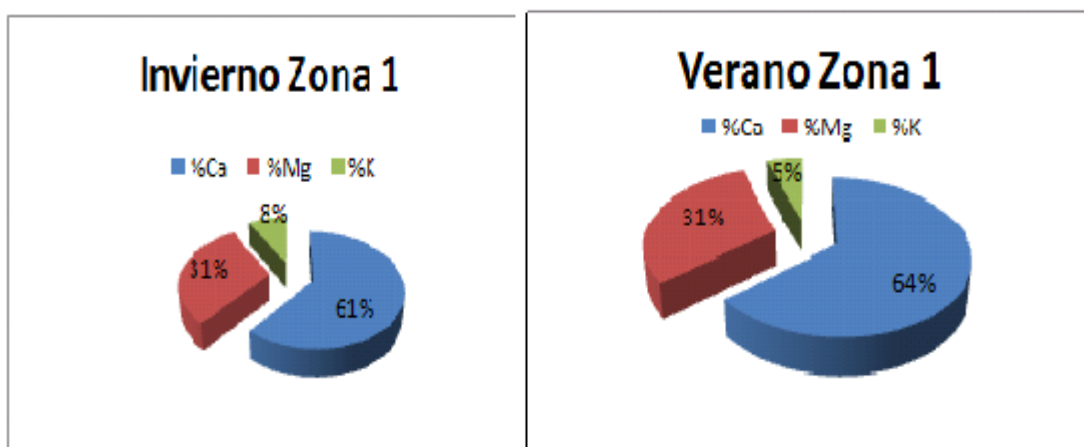


Figura 16. Porcentajes edáficos de Calcio, Magnesio, y Potasio en la zona 1 en época de invierno.

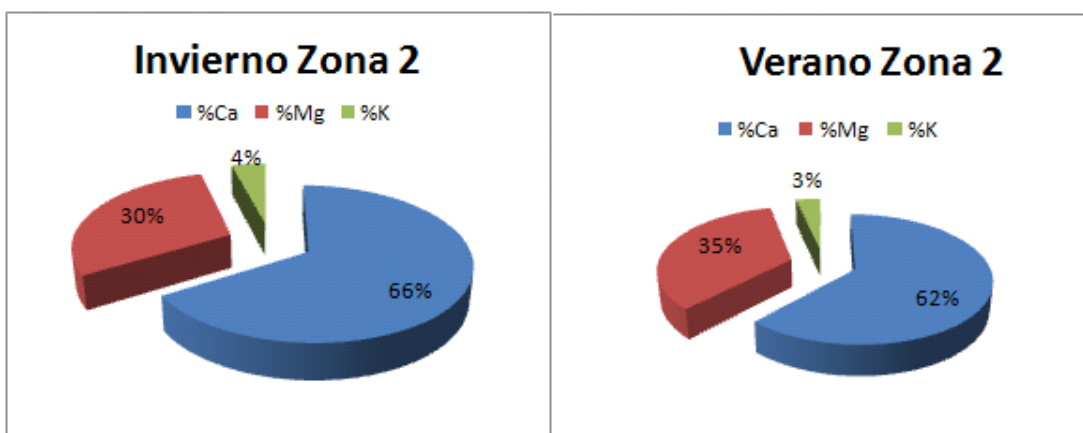


Figura 17. Porcentajes edáficos de Calcio, Magnesio, y Potasio en la zona 1 en época de invierno y verano.

De acuerdo con los porcentajes de minerales observados en las figuras 16 y 17 se encontró una gran diferencia entre zonas en relación con las épocas de lluvia y sequía, vemos que los porcentajes de los cationes mencionados aumentaron en la época de lluvias en la zona 2; esto posiblemente se debe a que la zona 2 se encuentra ubicada en la parte baja de la cuenca, lo cual favorece la acumulación de minerales por arrastre del flujo desde la zona 1 ubicada en la parte alta. También se le puede atribuir la liberación de estos minerales a procesos de meteorización química de las rocas.

Tabla 19. Registros edáficos de la Conductividad eléctrica, Fosforo (P), Amonio (NH₂), durante las épocas de lluvia y verano, en ambas zonas de la quebrada Potrerillo.

MUESTRA	PARÁMETRO			
	C. E – 25 °C	pH–25 °C	FOFORO (P)	AMONIO(NH ₄)
	µmhos/cm	Unidades	PPM	PPM
ZONA 1- INVIERNO	631.00	8.30	0.062	0.12
ZONA 1- VERANO	1159.00	7.94	0.033	No detectado
ZONA 2- VERANO	1396.00	7.40	0.047	No detectado
ZONA 2- INVIERNO	801.00	7.50	No detectado	0.07

En cuanto a las concentraciones de conductividad, fueron muy variables de acuerdo con la época. Las mayores concentración del parámetro en mención se registraron en la zona 1 y 2 (1159 y 1396 $\mu\text{mhos/cm}$), en época de verano y la menor en la zona 1 (631 $\mu\text{mhos/cm}$) en época de lluvias. Con este parámetro se esperaba este comportamiento ya que en la zona 2, en la época de verano se presentó una posible acumulación de iones como Calcio, Magnesio y Potasio (tabla 19) los cuales están muy relacionados con los valores de la conductividad eléctrica. En cuanto a la zona 1 que pertenece a la parte alta del sistema estudiado, por efecto de la escorrentía no permitió la posible acumulación de los iones mencionados de los cuales depende en gran parte la conductividad.

Los registros de pH nos muestran que en el sistema estudiado, hay presencia de un sistema buffer (HCO_3^-). El cual permite mantener los niveles de pH entre 7.4 y 8.30.

Tabla 20. Registros edáficos de Textura en ambas zonas de estudio durante las épocas de lluvia y verano en la quebrada Potrerillo.

MUESTRA	PARÁMETRO			
	Arcilla	Arena	Limo	Clase
	%	%	%	Textural
ZONA 1- INVIERNO	1.18	96.82	2.00	Arenosa
ZONA 1- VERANO	1.18	94.82	4.00	Arenosa
ZONA 2- VERANO	1.18	95.82	3.00	Arenosa
ZONA 2- INVIERNO	1.18	97.82	1.00	Arenosa

La textura es una propiedad fisicoedáfica fundamental, ya que muchos procesos físicos y químicos son determinados por esta; por ejemplo la capacidad de retención de humedad y la capacidad de intercambio catiónico.

La textura del suelo, se refiere a las proporciones relativas de los diferentes tamaños de los minerales individuales, tales como las arenas, los limos y las arcillas.

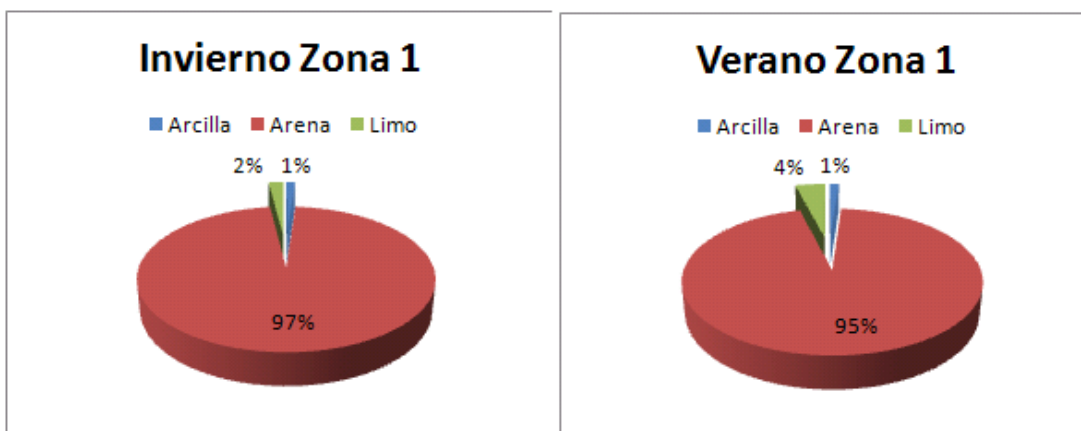


Figura 18. Porcentajes edáficos de Arcilla, Arena y Limo en la Zona 1 época de invierno y verano.

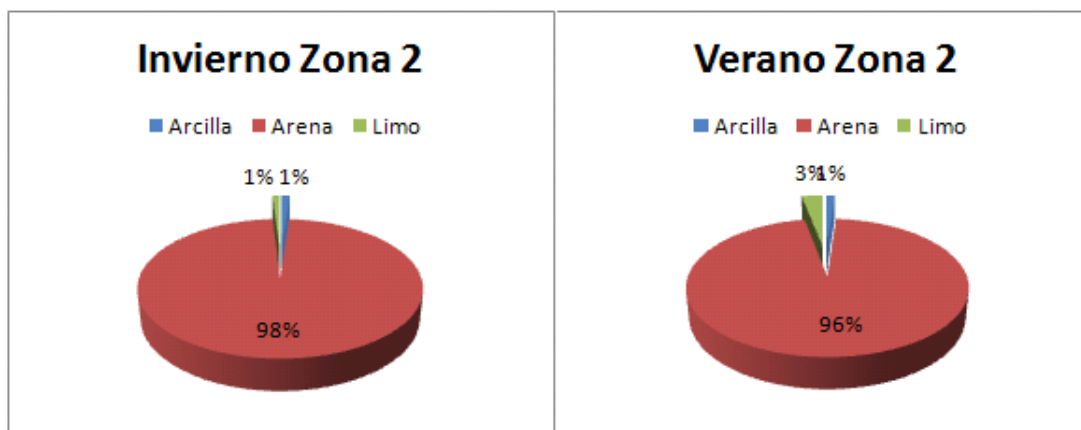


Figura 19. Porcentajes edáficos de Arcilla, Arena y Limo en la Zona 2 época de invierno y verano.

En este estudio fisicoédafico de textura se registraron en ambas zonas las siguientes proporciones de separados, arcilla 1.18 %, limo entre 1 y 4 % y arena entre 94.82 y 97.82 % (tabla 20). Siendo la arena el separado con mayor porcentaje en ambas zonas sin importar la época (figura 18 y 19); la cual nos

indica que la clase textural en las dos zonas de estudio es arenosa. Con respecto a esta clase textural y con base a las referencias bibliográficas obtenidas se puede decir que la quebrada Potrerillo, sistema intermitente posee una baja retención de humedad, lo cual puede ser una posible característica que aumente la intermitencia de la quebrada Potrerillo.

7. CONCLUSIONES

La Quebrada Potrerillo es un ecosistema acuático intermitente, debido a que el flujo superficial se presenta con una duración entre 15% y 40% de la duración del ciclo hidrológico anual. (J.R. Svec, R.K. Kolka, J.W. Stringer 2005).

De acuerdo con los registros precipitación de las estaciones meteorológicas de la Fonda y el Estrecho, comparado con las valoraciones de caudal se estableció una relación directa entre precipitación – caudal.

Se estableció que el flujo hídrico superficial, en las temporadas de sequía en la zona 1 es más duradero que en la zona 2 posiblemente debido a la mayor presencia de vegetación ribereña y a su cercanía al origen del sistema.

Se estableció la relación que tiene este comportamiento fisicoquímico hídrico, con factores incidentes como las características del suelo, la precipitación y la variación del caudal.

Los eventos de lluvia escasa y moderada aumentan las concentraciones de algunos parámetros importantes como el Oxígeno, debido al gran florecimiento de perifiton, lo anterior contribuye con la disminución del Dióxido de carbono debido a la exigencia de este parámetro en el proceso fotosintético.

La deforestación, agricultura y la ganadería, son factores que producen cambios en la fisicoquímica hídrica de la quebrada Potrerillo.

Con el estudio de suelo en la quebrada Potrerillo se determinó que los parámetros fisicoquímicos hídricos dependen en gran parte de la fisicoquímica del sustrato.

Los niveles de evaporación registrados en la estación climatológica La Fonda y la textura arenosa del suelo, permiten una gran capacidad de infiltración; siendo esta una de las causas de la prolongación de la intermitencia en la quebrada. También se determinó, que la permanencia del flujo hídrico, en estos ecosistemas de zonas áridas depende de la magnitud de la precipitación, vegetación ribereña y la textura del lecho, de la quebrada.

Se encontró diferencias entre las zonas de estudio en cuanto a las características fisicoquímicas hídricas y edáficas, observando en la zona 1 una mejor calidad de agua y un caudal más permanente en la época de sequía.

8. RECOMENDACIONES

Ampliar el análisis de variables físico químicas, para incluir aspectos tales como demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO₅), nitrógeno total y carbono orgánico total.

Extender este tipo de estudios a otros ríos intermitentes en la región y el País, para avanzar en el conocimiento limnológico de estos ecosistemas que son frecuentes en las zonas neotropicales.

Hacer estudios de este tipo en diferentes ríos intermitentes, pero ampliando las zonas de muestreos y muestreando con una mayor frecuencia, que nos permita aplicar una estadística más sólida a los datos y así poder tener mayores argumentos para deducir el comportamiento de estos ecosistemas.

9. BIBLIOGRAFIA

APARICIO MIJARES, Francisco Javier. Fundamentos de hidrología de superficie. 9 ed. México: Limusa, 2001. p. 303

ARIAS HERNANDEZ, Antonio. Drenaje de tierras. Universidad del Valle. 1991 p 242-260.

ASOCIACIÓN SUPRADEPARTAMENTAL DE MUNICIPIOS DE LA REGIÓN DEL ALTO PATÍA. Información hidrológica. Patía. 2006.

Clasificación internacional y USDA (United States Department of Agriculture) de los suelos. 5ª edición. New York. 1979 p 110

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA (C.R.C.) AC Editores. Popayán. 2005. p21-45

DAVIES, B. R., THOMS, M. C., WALKER, K. F., O'KEEFFE, J. H. y GORE, J. A. Dryland rivers: their ecology, conservation and management. In the river handbook. Eds. Callow, P. y Petts, G. E. 1994. pp. 484-511, Blackwell, Oxford, UK. p 110-120

GASITH, A. y RESH, V.H. Streams in Mediterranean Climate Regions: Abiotic Influences and Biotic Responses to Predictable Seasonal Events. Annual Review of Ecology and Systematics 1999.p 51-81

GONZALEZ MUÑOS, Luis Jorge. Hidrología práctica y gestión ambiental, vol. II.. Popayán 2004. Facultad de ingeniería civil. Departamento de Hidráulica. p. 2-30

GÓMEZ, R., VIDAL- ABARCA, M. R. y SUAREZ, M. L. Importante of the subsurface-surface water interaction in the wetland structure and dynamic in arid and semiarid areas. En Groundwater Ecology. A tool for management of water resources. Eds. Griebler, C., Danielopol, D., Gibert, J., Nachtnebel, H. P. y Notenboom, J., 2001.p. 317-322, European Comission- Environment and Climate Programe, Belgium.

GÓMEZ, R., Vidal-Abarca, M.R. y SUAREZ, M.L. Bioavailability of phosphorus in Ajauque stream wetland (SE Spain). 1992. p 1357-1360.

GÓMEZ, R. Función de los humedales en la dinámica de nutrientes (N y P) de una cuenca de características áridas: Experiencias en el sureste ibérico. Tesis Doctoral, Universidad de Murcia, Murcia, Departamento de Biología España. 1995. 50-65p.

GONZALEZ, 1998. Hidrología practica y gestión ambiental. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Hidráulica. Popayán. P25-30.

GUERRERO, C. Patrones ecológicos y respuesta de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos al estiaje. 2002. El caso del río Chícamo (SE de España). Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Departamento de Biología. Murcia, España. p96-115

HOLDRIDGE, L. Ecología basada en las zonas de vida. Instituto Interamericano de ciencias agrícolas, San José, Costa Rica. 1978. 58p.

HUTCHINSON. G. E. A Treatise on limnology. Geography physics, and chemistry.1957. New York. p 1015.

IBAÑEZ, A. Diego G., TORRES, H. Patricia M. y VASQUEZ, A. E. J. Edgar. Generalidades sobre la geología del norte del valle del Patía. 1992. p. 2-25.

ILLERA, V. Esmeralda. Manual de laboratorios de mecánica de suelos. Popayán. AC Editores, primera edición, 1998 p5-10

LIKENS, G. E. Afterword: reflections and needs. En arid lands management. Toward ecological sustainability eds. Hoekstra, T. W. y Shachak, M. 1999. pp. 269-272, University of Illionois Press y international arid lands Consortium, Urbana y Chicago, USA.

LONGO SANCHEZ, Magnolia. Composición y estructura de la comunidad de macroinvertabrados acuáticos y determinación de las características físicas y químicas durante un ciclo anual en un río intermitente, Popayán 2007. Tesis de maestría. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Departamento de Biología.

MALAGON, Castro. Los suelos de Colombia 2001. 17-23p.

MARINI, M. F., y PICCOLO, M. F., Hidrogeomorfología de a cuenca río Quiquen Salado, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.2000 p24

MORENO, J.L., Vidal-Abarca, M.R. y Suárez, M.L.. Ecosistemas acuáticos de las ramblas murcianas. 2001a. Quercus 184: p28-33

MORENO, J.L., Aboal, M., Vidal-Abarca, M.R. y Suárez, M.L.. Macroalgae and submerged macrophytes from fresh and saline waterbodies of ephemeral streams ('ramblas') in semiarid south-eastern Spain 2001b. Marine and Freshwater Research 52: p891-905

PAYNE, A. I. The ecology of tropical lakes and rivers. 1986. John Willey & Sons. Londres p 210-217

PLAN BASICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (PBOT). Información Hidrológica. Patía. 2005.

RINCÓN, E. J., MARTINEZ, I., LEÓN, E., y ÁVILA, N. Procesamiento de la hojarasca de *Anacardium Excelsum* en una corriente tropical del Noreste de Venezuela. 1997.p120-140.

RODRIGUEZ GARCIA de MURO, José. Hidrología aplicada. Madrid España. Centro de estudios y experimentación de obras públicas, p1992.50

ROLDAN PEREZ, G. Fundamentos de limnología Neotropical. Editorial universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 1992. p5-47

SANCHEZ ORDÓÑEZ, Julio. Hidrología para hidromensores. Servicio colombiano de Meteorología e Hidrología. Bogotá, 1975.p 75

SUAREZ, M. L. Estructura y dinámica de la composición fisicoquímica de las aguas superficiales de una cuenca de características semiáridas (Cuenca del río Mula). 1986. Tesis Doctoral Universidad de Murcia, Murcia, España.

SUÁREZ, M.L. y VIDAL-ABARCA, M.R. Metabolism in a semiarid stream of south-east Spain. 2000. Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie 27: p756-761.

SUÁREZ, M.L., Vidal-Abarca, M. R., Gómez, R. y Ramírez-Díaz, L. Las avenidas de agua en la configuración de los paisajes de regiones áridas y semiáridas: Consideraciones sobre las obras de control. VI Jornadas sobre el Paisaje: Agua y Paisaje. Asociación para el Estudio del Paisaje. Segovia (España). 1995.

SILVA MEDINA, Gustavo. Hidrología básica. Universidad Nacional de Colombia, 1998. Departamento de Biología. p137

THOMSON, F. 1984. The fres-water snail of Florida. An manual for identification. University press of Florida. Grainville. Disponible en internet:
<http://www.flmnh.ufl.edu/natsci/malacology/Fi-snail/html>

TORRES, H. Maria, P., VASQUEZ A. Edgar, J. Generalidades sobre la geología del norte del Valle del Patía. 1992.

TRUSSELL, R. P. The percent – ionizad ammonia in aqueous ammonia solutions at different pH levels and temperatures. 1972. Canada, 29: p1505-1507

URRA SIMONET, Mario. Fundamentos de hidrología superficial. Universidad de Chile, 1995. p81

VANNOTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J. R. SEDELL, and C. E. CUSHING. 1980. The river continuum concept. In: Can. J. Fish Aquat. Sci. 37: 130-137

VASQUEZ, G.L 1992. “Evaluación de la calidad de las aguas naturales” significados y alcances de la determinación y análisis de los parámetros físicoquímicos y biológicos fundamentales. Guía de clases. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Universidad del Cauca.

VIDAL – ABARCA, M. R., GOMEZ, R. y SUAREZ, M. L. Los ríos de las regiones semiáridas. Ecosistemas 2004/1 (URL: <http://www.aeet.org/041/revision4.htm>). 2004.

VIDAL- ABARCA, M. R., SUAREZ, M. L. y RAMIREZ- DIAZ, L. Ecology of Spanish semiarid streams. 1992. Limnetica 8: p151-160.

VIDAL- ABARCA, M. R., SUAREZ, M. L., GUERRERO, C., VELASCO, J., MORENO, J. L., PERAN, A., MILLAN, A., GOMEZ, R., y MELLADO, A. Carbon budget in a semi-arid stream (chicamo stream; southeast spain) during different hydrological events. symposium for European Freshwater Science (SEFS). 1999. University of Antwerpen, Antwerpen, Belgian.

VIDAL-ABARCA, M. R., SUAREZ, M. L., GOMEZ, R. Moreno, J. L. y GUERRERO, C. Diel variation in physical end chemical pameters in a semiarid stream in Spain (Chicamo Stream)2004. Verhandlungen Internationale Vereinigung limnologie 28: p1111-1115.

VIDAL-ABARCA, M.R., Suárez, M.L. y Ramírez-Díaz, L. Ramblas/Wadis. En Management of mediterranean wetlands. III. Case studies 2. Proyecto MEDWET (eds. Morillo, C. y González, J.L.), 1996. P 17-38, Unión Europea. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid, España.

WETZEL, Robert G. Limnologia.1981 Barcelona. Ediciones Omega S.A. p3050

-----, 2001. Fundamental processes within natural and constructed wetland ecosystems: short –term versus long- term objectives. Water Sci. Techol. 44, 1-8

ANEXO A

Tabla 21. Valores mensuales, promedio anual y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos hídricos en la zona 1.

Variables	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP*	OCT	NOV	DIC	PROM	DS
T. ambiental °C	29	27	29	27	26	27	29	28	31	30	26	32	29	1,9
T. hídrica °C	26	25	26	24	22	24	23,5	23,8	27	27	23,5	29	25,5	1,8
Oxígeno mg/L	6	6,1	5,5	5,8	6,5	6,1	4,9	6,2	2,5	4	4	4,8	5	1,2
% saturación	78	73	68	70	72	75	60	75	30	50	48	65	62	15,4
CO ₂ mg/L	3	2,8	3	3,4	3,2	2	3,5	1	10,3	0,4	1,8	2,1	3	2,7
Conductividad µMhos/cm	390	350	310	320	300	340	320	348	390	380	345	272	345	37
pH Unidades	7,2	7,5	7,2	7,5	7,2	7,2	7,9	8	7,5	7,5	7,4	7,5	7,5	0,3
Calcio mg/L CaCO ₃	14	15	16	20	25	28	45	24	25	69	28	42	31	17
Dureza total mg/L CaCO ₃	300	290	110	190	100	270	170	290	490	210	32	116	228	130
Dureza carbonácea mg/L CaCO ₃	120	110	120	120	140	150	179	150	120	214	160	157	148	32
Amonio mg/L	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0,005	0	0,02	0,01
Nitritos mg/L	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,04	0	0,02	0,02
Nitratos mg/L	60	50	63	60	65	50	37	10	50	75	75	17,5	49	21,9
Turbidez NTU	0	0	2	0	5	0	0	3	4	8	5	21	4	6,4
Caudal L/s	25	25	28	35	30	22	17	14	0	9,8	78,7	200	42	59,3
Ancho total del cause m	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	0
Ancho activo m	10	9,5	8,5	8	7,1	6	1,2	0,9	0	1	5,7	8,2	5,1	4

*Meses más secos del año, donde no hay flujo hídrico superficial.

ANEXO B

Tabla 22. Valores mensuales, promedio anual y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos hídricos en la zona 2

Variables	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO*	SEP*	OCT*	NOV	DIC	PROM	DS
T. ambiental														
°C	29	28	33	29	29	29	32	30	34	32	29	33	31	2,1
T. hídrica °C	27	27,5	29	27	26	26,2	27	32	32	32	26	29,5	28,6	2,7
Oxígeno mg/L	6,4	6,1	5,4	6	6,2	6,5	8,3	6,2	2	2,5	3,3	5,5	5,2	2
% saturación	80	78	73	77	80	82	100	79	30	36	40	75	67	23
CO2 mg/L	3,2	4	4,7	3,8	3,6	2	0	1	2,1	2,1	4,3	4,3	2,8	1,6
Conductividad µMhos/cm	350	345	360	350	340	300	336	263	400	390	340	290	337	43
pH Unidades	8	8	8,2	7,8	7,5	6,3	9	7	7,5	8	7,6	7,5	7,7	0,7
Calcio mg/L CaCO ₃	10	8	10	15	17	19	23	16	60	44	20	26	24	17
Dureza total mg/L CaCO ₃	150	130	150	150	140	130	150	250	420	130	120	114	174	94
Dureza carbonácea mg/L CaCO ₃	200	190	210	190	195	180	196	190	190	112	240	150	186	34
Amonio mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01	0,002	0,01	0,02	0,01
Nitritos mg/L	0,01	0,01	0,05	0,04	0,05	0,05	0,06	0,01	0,01	0,03	0,07	0	0,03	0,03
Nitratos mg/L	110	125	130	85	90	70	22	10	75	60	75	25	70	42,6
Turbidez NTU	6	3	7	3	10	5	0	10	9	11	7	47	11	13,2
Caudal L/s	14	12	16	15	18	15	9,59	0	0	0	51	290	41	88,8
Ancho total del cause m	13,69	13,69	13,69	13,7	13,7	13,69	13,69	13,69	13,69	13,69	13,69	13,69	13,7	0
Ancho activo m	12,5	11,8	10,2	8,4	6,5	5,39	2	1,5	0	0,3	7,13	9,6	6	4,9

*Meses más secos del año, donde no hay flujo hídrico superficial.