



## **IMPACTO DE FENOMENOS ENOS EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO COMBEIMA, MUNICIPIO DE IBAGUE, COLOMBIA**

Oscar Efrén Ospina Zúñiga. Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué - Colombia

### **Resumen**

En la investigación se evaluó el comportamiento de la turbiedad, conductividad, coliformes totales y fecales del río Combeima, una de las principales fuentes superficiales del Parque Natural de los Nevados, región Andina de Colombia; durante el periodo 2008 - 2012 donde ocurrieron los fenómenos naturales ENOS, denominados “la Niña” y “el Niño”, caracterizados por presentar temporadas secas y lluviosas, respectivamente, con cambios extremos de precipitación de agua lluvia registrados a partir de la información emitida por la NOAA. Para ello, se evaluó el comportamiento de turbidez, conductividad, coliformes totales y fecales presentados mensualmente en el río durante un periodo de 5 años comprendido entre 2008 y 2012, donde ocurrieron temporadas secas y lluviosas caracterizadas por los fenómenos naturales de “la Niña” y “el Niño” que variaron las condiciones de calidad del agua y en algunos casos afectaron la continuidad del servicio de agua potable para la población urbana de Ibagué. En 2014 se realizaron muestreos de agua en siete diferentes puntos a lo largo del río Combeima, determinándose el comportamiento espacial de estos contaminantes, en temporada seca y lluviosa.

De acuerdo a los registros de turbiedad obtenidos, se presentaron los máximos valores durante la ocurrencia del fenómeno de “la Niña”, con altos valores de precipitación que contribuyen al arrastre de sedimentos al río Combeima, debido a diferentes procesos erosivos suscitados en la cuenca hidrográfica especialmente por causas antrópicas, donde la agricultura del café ocupa el principal renglón de la economía de la región. La conductividad no presentó cambios significativos y no dependió de los fenómenos ENOS. Se presentó alta concentración de coliformes totales y fecales durante todo el período evaluado, considerándose al río como “muy deficiente” según la norma colombiana (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

### **Introducción**

Los procesos erosivos en cuencas hidrográficas se originan por fenómenos naturales como la sismicidad, actividad volcánica y pluviosidad, o por la deforestación, incineración de biomasa y actividades agropecuarias intensivas, referidas a actividad antrópica; cuyo efecto residual arroja diversos contaminantes sólidos y líquidos que afectan la calidad del agua superficial, correspondiente a sales, metales, agroquímicos y micro-organismos, entre otros, poniendo en riesgo la salud humana (Ospina, 2013). Esta situación es recurrente en muchas fuentes hídricas superficiales localizadas en la región Andina de Colombia, que sirven de abastecimiento para una vasta población urbana, como es el caso de la ciudad de Ibagué, capital del departamento del Tolima, que se abastece principalmente del río Combeima, el cual tiene un caudal promedio de 4 m<sup>3</sup>/s (Superintendencia de Servicios Públicos, 2013), cuya situación actual evidencia problemas de calidad. Según el documento CONPES 3570, la cuenca del río Combeima ha sufrido un deterioro acelerado principalmente dado por la ocurrencia del fenómeno torrencial, fenómenos erosivos, movimientos en masa y avalanchas. La frecuente ocurrencia de estos fenómenos naturales ha generado un alto riesgo en la cuenca. El



incremento en el caudal de la cuenca, sumado a las condiciones de riesgo existentes, afecta la infraestructura de abastecimiento de agua potable, principalmente a los tanques de almacenamiento, las bocatomas del acueducto de Ibagué sobre el río Combeima y a la infraestructura de conducción del agua (Conpes, 2009).

Para definir las características de la contaminación presente, se evaluaron los indicadores de turbiedad, conductividad, coliformes totales y fecales del agua, realizados diariamente durante los años 2008 a 2012 en el laboratorio de Control de Calidad de la empresa IBAL S.A. E.S.P. (García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014), mediante muestras tomadas en el sitio de captación del sistema de acueducto, periodo en el cual se presentaron las últimas oscilaciones climáticas globales denominados fenómenos de “El Niño” y “La Niña” caracterizados por temporadas secas y de lluvia, respectivamente, lo cual permite definir la incidencia de este tipo de eventos naturales en las características físicas y microbiológicas del cuerpo de agua.

### Metodología

En la investigación de tipo exploratorio y descriptivo, se realizó la descripción de las características del agua cruda presente en el río Combeima, analizando los parámetros turbiedad, conductividad, coliformes totales y fecales, siendo el área de estudio su cuenca alta definida aguas arriba del sitio de captación del sistema de acueducto urbano de Ibagué y que corresponde a una superficie aproximada de 184.45 km<sup>2</sup>, ubicada en la parte centro-occidental del departamento del Tolima sobre el flanco oriental de la cordillera central de Colombia. El río Combeima cuenta con una longitud de cauce de 57,8 km, recorrido que hace desde su nacimiento en el volcán nevado del Tolima a una altura de 5.220 m.s.n.m. hasta su desembocadura en el río Coello a una altura de 700 m.s.n.m., con un caudal promedio de 4 m<sup>3</sup>/s. La precipitación media anual es de 1.816 mm y cuenta con una temperatura promedio de 17 °C. La población residente del área de estudio es aproximadamente de 1071 habitantes, con presencia de población flotante eventualmente, dado el turismo que caracteriza la cuenca por su riqueza natural (García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014). La ubicación geográfica del área de estudio se identifica en la figura 1.

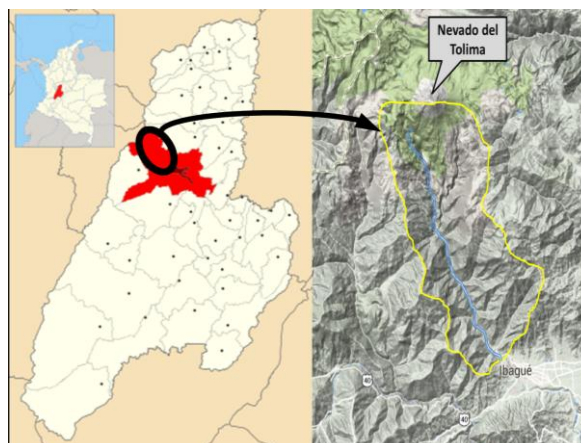


Figura 1. Localización general de la cuenca del río Combeima

Fuentes: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/75/Colombia\\_-\\_Tolima\\_-\\_Ibague.svg/270px-Colombia\\_-\\_Tolima\\_-\\_Ibague.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/75/Colombia_-_Tolima_-_Ibague.svg/270px-Colombia_-_Tolima_-_Ibague.svg.png) y Google Maps (modificado por el autor)



Esta cuenca presenta usos del suelo que en general se refiere al desarrollo de actividades agropecuarias, que comprende algunos cultivos permanentes y en su mayoría el café, además de otra serie de cultivos alternativos. La actividad pecuaria se refiere a porcicultura, avicultura y piscicultura, con presencia dispersa de ganado vacuno en pequeña escala. La presencia de estos sectores productivos contribuye en la generación y emisión de contaminantes sobre los cuerpos de agua, agravada por su extensión hasta el lecho mismo del río con aporte de contaminación directa o indirecta, por medio de residuales de la aplicación de plaguicidas y fertilizantes en el sector agrícola (García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014). El turismo es un renglón importante en la economía de la región, dado el aprovechamiento que se le da a la riqueza natural del denominado cañón del Combeima, por el cual se accede al parque natural de los Nevados. Esta actividad atrae un significativo número de personas que de una y u otra manera pueden incidir en las condiciones ambientales del sector, conjugado a la presencia de población residente, cuyas aguas residuales domésticas no poseen tratamiento y son descargas directamente a la fuente hídrica. El río Combeima presenta características de elevada concentración de sólidos en determinadas épocas del año, que obliga a la entidad prestadora del servicio de acueducto (empresa IBAL S.A. E.S.P.) a suspender el servicio de agua potable en detrimento de su continuidad, con potenciales consecuencias sanitarias en la población urbana de Ibagué. Ello se debe al arrastre de material proveniente de diversas fuentes, que conjugando eventos de carácter natural e intervención antrópica, incorporan al cuerpo de agua sólidos suspendidos, como se aprecia en las figuras 2 y 3 (Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado IBAL S.A. E.S.P. Oficial, 2014).



Figuras 2 y 3. Arrastre de material con altos niveles de turbiedad del río Combeima en época de lluvia. Limpieza manual de desarenadores por presencia de sedimentos.

Fuente: IBAL, 2014

El proceso de remoción de turbiedad se vuelve crítico cuando presenta valores elevados de concentración, hasta el punto de saturar de sedimentos los desarenadores existentes, requiriéndose la extracción manual y mecánica por parte de operadores de la empresa IBAL S.A. E.S.P., inhabilitando totalmente la operación del sistema de acueducto. De acuerdo a las turbiedades máximas puntuales presentadas en el río Combeima y registradas por la empresa IBAL S.A. E.S.P. durante el periodo comprendido entre los años 2009 a 2012, se presentan concentraciones muy altas que ponen de manifiesto la degradación del suelo en la cuenca alta que va en incremento, según se describe en la



figura 4. Para los cuatro registros obtenidos, se trata de valores excesivos de unidades nefelométricas de turbiedad (NTU), para efectos del proceso de potabilización del agua.

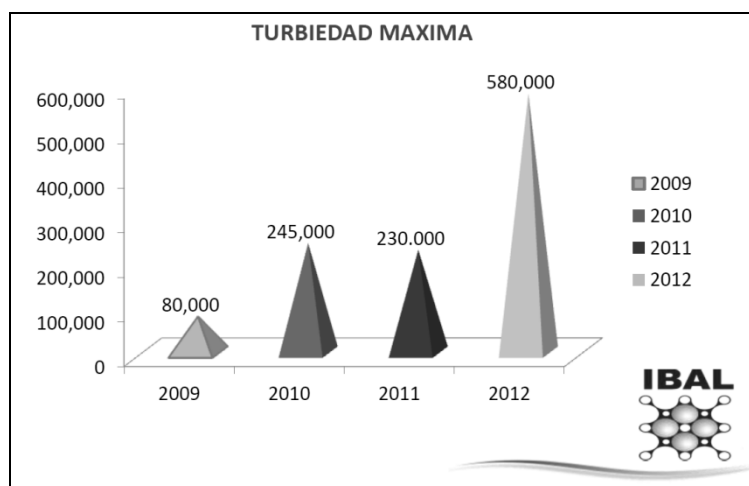


Figura 4. Turbiedad máxima presentada en los años 2009 a 2012 en el río Combeima.  
Fuente: IBAL, 2014

La población residente en la cuenca alta del río Combeima corresponde a 1071 habitantes y sus aguas residuales domésticas son arrojadas al cuerpo de aguas arriba de la bocatoma del acueducto urbano, según se describe en la tabla 1. Se trata de localidades rurales nucleadas ubicadas en las márgenes del río.

**Tabla 1.** Centros poblados más representativos de la cuenca alta del río Combeima.

| Comunidad      | Población total (hab.) | Población por predio y /m <sup>2</sup> (promedio) | Población por predio | No. de predio habitados (total) |
|----------------|------------------------|---|----------------------|---------------------------------|
| Juntas         | 207                    | 0.0200  | 2.9                  | 72(74)                          |
| Villa Restrepo | 198                    | 0.0073  | 2.6                  | 75(105)                         |
| Pico de oro    | 83                     | 0.0089  | 3.3                  | 25(30)                          |
| Pastales       | 266                    | 0.0169  | 2.6                  | 102(105)                        |
| Llanitos       | 317                    | 0.0350  | 4.2                  | 74(75)                          |
| Total          | 1071                   | 0.0227  | 3.1                  | 348(389)                        |

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014.

Las precipitaciones promedio anual presentadas en este periodo de tiempo, según se indica en la figura 4, muestran incremento anual con mayor valor para el año 2011 que coincide con el comportamiento del número de cierres de la bocatoma del acueducto.

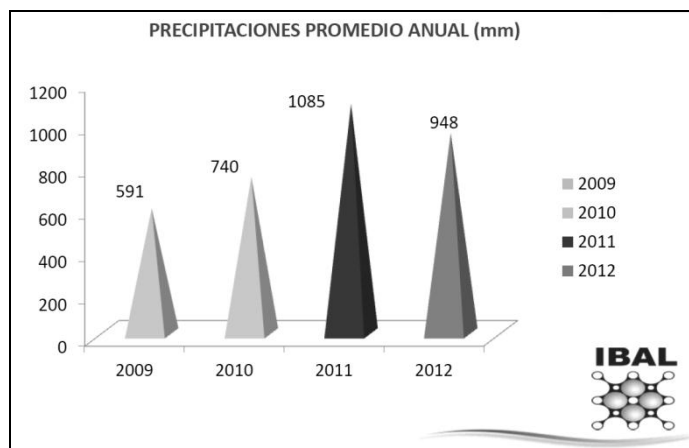


Figura 4. Precipitación promedio anual.  
Fuente: IBAL, 2014

Para determinar el comportamiento de la turbiedad, conductividad, coliformes totales y fecales a lo largo del río Combeima tanto en temporada seca como lluviosa, se establecieron siete puntos de muestreo desde la parte alta del mismo donde no está sometido a intervención antrópica, hasta la bocatoma del sistema de acueducto urbano de Ibagué, mediante muestreos del agua cruda. Los registros de precipitación en la cuenca alta del río Combeima se obtuvieron del IDEAM, durante el periodo comprendido entre los años 2008 a 2012 y que corresponden a valores promedios mensuales (mm), escogiéndose la estación pluviográfica localizada en el corregimiento de Juntas (quebrada las Perlas) a 1765 m.s.n.m., por ser la más representativa respecto a la lluvia que ocurrió en la zona de estudio (García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014), cuyos resultados se describe en la tabla 2.

Tabla 2. Valores mensuales de precipitación en la estación Juntas, municipio de Ibagué.

| I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES |     |     |         |         |         |         |        |         |         |         |         |         |         | SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL |            |    |
|--|-----|-----|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---|------------|----|
| VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)                         |     |     |         |         |         |         |        |         |         |         |         |         |         |   |            |    |
| FECHA DE PROCESO : 2014/07/17  |     |     |         |         |         |         |        |         |         |         |         |         |         | ESTACION : 21210020 JUNTAS LAS            |            |    |
| LATTITUD 0433 N TIPO EST PG DEPTO TOLIMA FECHA-INSTALACION 1971-AGO      |     |     |         |         |         |         |        |         |         |         |         |         |         |   |            |    |
| LONGITUD 7519 W ENTIDAD 01 IDEAM MUNICIPIO IBAGUE FECHA-SUSPENSION       |     |     |         |         |         |         |        |         |         |         |         |         |         |   |            |    |
| ELEVACION 1765 m.s.n.m REGIONAL 10 TOLIMA CORRIENTE QDA PERLAS           |     |     |         |         |         |         |        |         |         |         |         |         |         |   |            |    |
| #  | EST | ENT | ENERO * | FEBRE * | MARZO * | ABRIL * | MAYO * | JUNIO * | JULIO * | AGOST * | SEPTI * | OCTUB * | NOVIE * | DICIE *                                   | VR ANUAL * |    |
| 2000   | 1   | 01  | 100.9   | 80.5    | 157.2   | 102.7   | 291.1  | 161.3   | 92.4    | 214.3   | 258.7   | 156.3   | 85.1    | 54.9                                      | 1755.4     | 3  |
| 2001   | 1   | 01  | 47.6    | 79.1    | 112.1   | 122.0   | 172.1  | 96.8    | 198.6   | 28.9    | 225.7   | 58.3    | 99.5    | 41.5                                      | 1282.2     |    |
| 2002   | 1   | 01  | 24.4    | 63.5    | 138.5   | 176.6   | 113.6  | 122.3   | 114.0   | 81.3    | 115.4   | 164.6   | 82.5    | 65.5                                      | 1262.2     |    |
| 2003   | 1   | 01  | 13.1    | 63.6    | 234.7   | 208.4   | 218.6  | 187.3   | 121.8   | 293.0   | 157.5   | 187.0   | 99.5    | 75.2                                      | 1859.7     |    |
| 2004   | 1   | 01  | 70.7    | 67.6    | 102.2   | 136.6   | 215.5  | 99.6    | 290.8   | 80.4    | 165.9   | 172.9   | 117.8   | 62.4                                      | 1582.4     |    |
| 2005   | 1   | 01  | 86.6    | 69.0    | 65.1    | 139.7   | 214.1  | 92.0    | 73.3    | 211.2   | 113.4   | 162.4   | 124.3   | 66.7                                      | 1417.8     |    |
| 2006   | 1   | 01  | 65.5    | 57.5    | 131.2   | 188.5   | 208.0  | 180.1   | 91.9    | 87.3    | 259.6   | 92.9    | 131.4   | 50.2                                      | 1544.1     |    |
| 2007   | 1   | 01  | 32.2    | 13.6    | 112.9   | 211.4   | 233.7  | 154.5   | 124.5   | 127.5   |         |         |         | 146.4                                     | 1156.7     | 3  |
| 2008   | 1   | 01  | 52.3    | 56.4    | 25.1    | 67.6    | 168.2  | 213.2   | 193.0   | 90.5    | 49.4    | 151.6   |         |   | 1067.3     | 3  |
| 2009   | 1   | 01  |         |         | 125.8   | 141.0   | 62.6   | 204.7   | 103.1   | 73.0    |         |         |         |   | 710.2      | 3  |
| 2011   | 1   | 01  | 48.8    | 93.4    | 163.0   | 176.0   | 179.6  | 77.0    | 108.5   | 83.6    | 153.4   | 218.8   | 211.3   | 84.3                                      | 1597.7     |    |
| 2012   | 1   | 01  | 85.9    | 70.9    | 131.7   | 147.8   | 220.9  | 170.1   | 121.5   | 130.4   | 51.0    | 184.1   | 71.6    | 42.8                                      | 1428.7     |    |
| 2013   | 1   | 01  | 12.4    | 134.4   | 152.2   | 84.1    | 185.3  | 108.2   | 59.7    |         |         |         |         |   | 736.3      | 3  |
| MEDIOS   |     |     | 53.4    | 70.8    | 127.1   | 146.3   | 191.0  | 143.6   | 130.2   | 125.1   | 155.0   | 154.9   | 113.7   | 69.0                                      | 1480.1     |    |
| MAXIMOS  |     |     | 100.9   | 134.4   | 234.7   | 211.4   | 291.1  | 213.2   | 290.8   | 293.0   | 259.6   | 218.8   | 211.3   | 146.4                                     | 293.0      |    |
| MINIMOS  |     |     | 12.4    | 13.6    | 25.1    | 67.6    | 62.6   | 77.0    | 59.7    | 28.9    | 49.4    | 58.3    | 71.6    | 41.5                                      | 12.4       | ** |

EST = ESTADO DE LA INFORMACION    \*\* C O N V E N C I O N E S \*\*    \*\* AUSENCIAS DE DATO \*\*    \*\* ORIGENES DE DATO \*\*

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

Esta estación no registra algunos valores de precipitación correspondientes a los años 2008 y 2009, así como la totalidad del año 2010. Durante el periodo de tiempo 2008–





2012 ocurrieron los fenómenos naturales de “El Niño” y “la Niña”, que inciden en las temporadas seca y lluviosa (García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014). El fenómeno denominado “el Niño” se debe por la presencia de aguas anormalmente cálidas, en la costa occidental de Suramérica por un período mayor a 3 meses consecutivos. Se manifiesta en Colombia con reducción de lluvias y diferentes periodos de sequías importantes en varias regiones del país. El fenómeno de “la Niña” ocurre cuando los vientos alisios se intensifican y quedan en la superficie las aguas profundas más frías del Pacífico ecuatorial y disminuye la temperatura superficial del mar. Se caracteriza en Colombia por presentarse altas precipitaciones. La Administración Nacional Oceánica y Ambiental, agencia científica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (NOAA), registra los fenómenos de “el Niño” y “la Niña”, donde el primero ocurrió desde agosto de 2009 a mayo de 2010 en el periodo en estudio (2008–2012); el segundo se presentó en 4 ocasiones en dicho periodo, correspondientes a los comprendidos entre septiembre de 2007 a julio de 2008, enero a abril de 2009, agosto de 2010 a mayo de 2011 y octubre de 2011 a abril de 2012 (Climate Prediction Center NOAA, 2015).

## Resultados

La manifestación de los fenómenos ENOS durante el periodo 2008 – 2012 se describe en la figura 5.

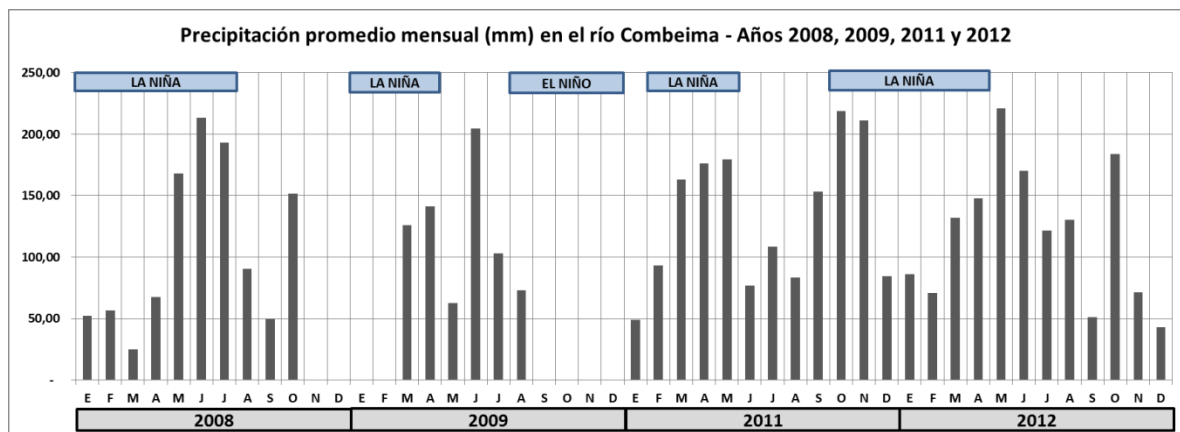


Figura 5. Correlación Precipitación mensual vs. Fenómenos de “la Niña” y “el Niño” ocurridos en los años 2008, 2009, 2011 y 2012.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

Para la cuenca alta del río Combeima, el fenómeno de “la Niña” al inicio del año 2008 se manifestó con baja precipitación y solo se acentuó en los últimos 3 meses, correspondientes a mayo, junio y julio; lo cual indica que para la zona en estudio y durante el tiempo de duración del evento natural, no necesariamente se obtendrán precipitaciones constantes mensuales altas. Para el año 2009 se tiene información incompleta de precipitación, pero puede colegirse que en el mes de junio se presentó alta precipitación promedio mensual por fuera del evento natural ocurrido (“la Niña”), con valor similar al año anterior donde estuvo influenciado por este tipo de fenómeno, lo cual es indicador que las altas precipitaciones no están necesariamente ligadas a dicho fenómeno natural. El fenómeno de “la Niña” ocurrido en 2011 coincide con las mayores precipitaciones mensuales, pero en los 3 primeros meses del año 2012 se manifestó con



baja precipitación y solo se acentuó en los últimos 2 meses, correspondientes a marzo y abril; lo cual reitera que para la zona en estudio y durante el tiempo de duración del evento natural, no implica precipitaciones mensuales altas (García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014).

Según el Departamento Nacional de Estadísticas de Colombia, DANE, el fenómeno de “la Niña” de 2010–2011 se fortaleció y obtuvo su madurez en el trimestre noviembre y diciembre de 2010 - enero de 2011, alcanzando categoría fuerte (Climate Prediction Center NOAA, 2015). Para el caso de la cuenca en estudio, este patrón no sucedió y precisamente en este trimestre decayó el promedio mensual de precipitación. Para el año 2012, en los meses de junio y julio se presentó alta precipitación promedio mensual por fuera del evento natural ocurrido (“la Niña”), con valor similar a la máxima obtenida en el año 2011, el cual estuvo influenciado por este fenómeno; reiterándose con ello que para esta cuenca las altas precipitaciones no están necesariamente ligadas a éste. Del registro de precipitación evaluado puede definirse que la precipitación en la cuenca alta del río Combeima tiende a presentar en general dos picos altos durante cada año, evidenciándose el primero en los meses de junio y julio, y el segundo en octubre y noviembre. Para el caso del año 2011, esta tendencia varió y el primero se presentó en los meses de abril y mayo, probablemente influenciado por la ocurrencia del primer fenómeno de “la Niña” de ese año. De acuerdo a los registros de turbiedad promedio diaria realizada en la bocatoma del sistema de acueducto urbano de Ibagué durante el periodo comprendido entre 2008 y 2012, se calcularon los promedios mensuales para cada año, así como el general correspondiente a cada mes para el periodo en estudio (García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014); según se describe en la figura 6.

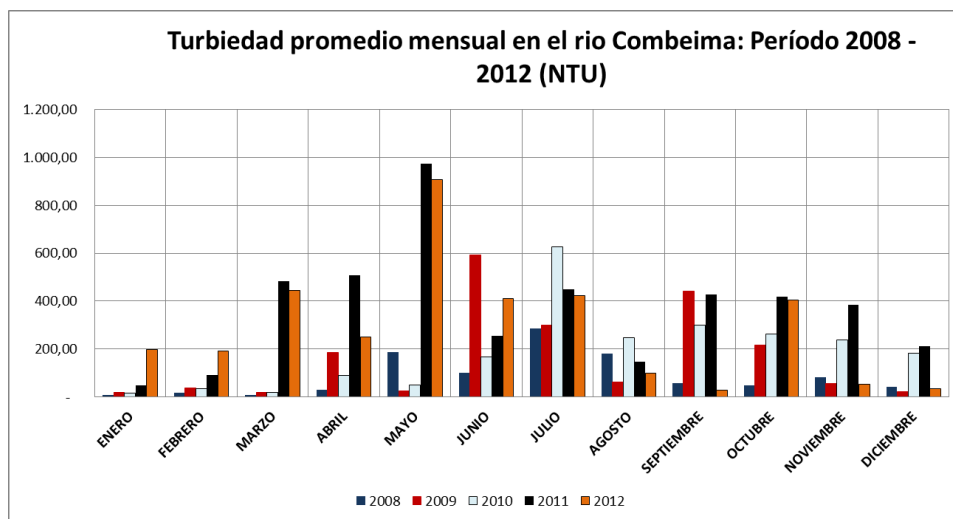


Figura 6. Turbiedad promedio mensual para el periodo 2008–2012, en la bocatoma del acueducto urbano de Ibagué.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

Las variaciones ocurren en general dependiendo de la temporada del año, presentando mayores valores de turbiedad para aquellos meses con prevalencia de lluvias que contribuyen por escorrentía superficial al arrastre de sedimentos al río Combeima (García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014). Se puede considerar que para el periodo en estudio, los meses de abril, mayo, junio y julio aportan mayores concentraciones de



turbiedad al cuerpo de agua durante el año, siendo los de mayor exigencia para la empresa prestadora del servicio para su remoción, mediante su sistema de tratamiento convencional. Si se analiza la máxima turbiedad promedio mensual obtenida durante este período, según se describe en la figura 7, se obtienen valores que oscilan entre 972 NTU (mayo de 2011) y 191 NTU (agosto de 2010); considerándose que para el primero pudo influenciar la ocurrencia del fenómeno de “la Niña” 2010 – 2011, el cual culminó precisamente en el mes de mayo de 2011, caracterizado por su efecto devastador en Colombia. La cuenca alta del río Combeima no fue ajena a esta acción natural, la cual pudo impactar en las condiciones morfológicas de la cuenca con denudación de suelo, el cual liberó una masa considerable de sedimentos que fueron depositados en el río por la escorrentía de las lluvias ocurridas.

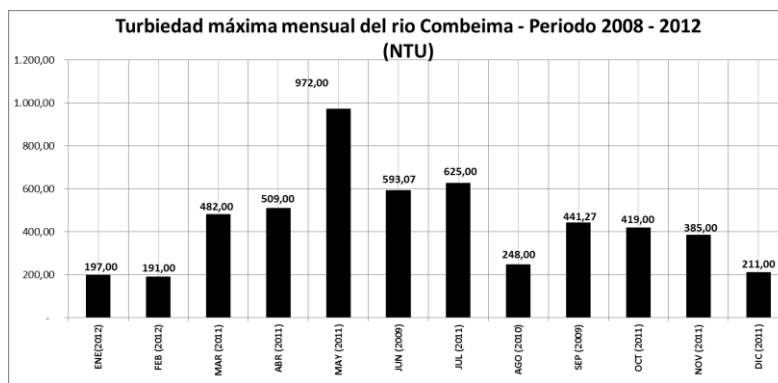
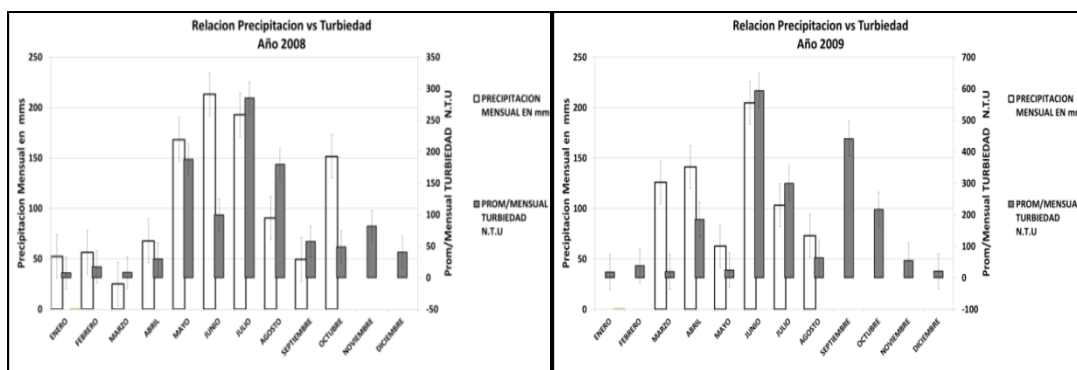


Figura 7. Turbiedad promedio mensual máxima para periodo 2008–2012, en la bocatoma del acueducto urbano de Ibagué.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

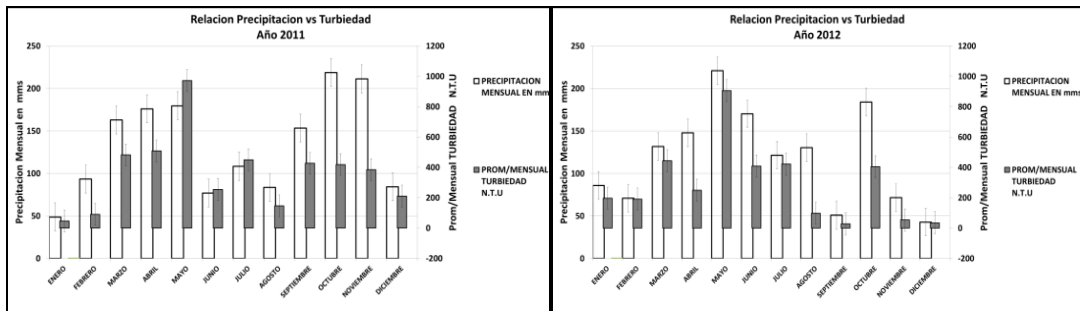
Con la precipitación mensual registrada en la cuenca alta del río Combeima durante el periodo en estudio, con excepción del año 2010, se realizó la correlación con la turbiedad promedio mensual para los años 2008, 2009, 2011 y 2012, según se indica en las figuras 8, 9, 10 y 11, respectivamente.



Figuras 8 y 9. Relación precipitación mensual vs. turbiedad promedio mensual para los años 2008 y 2009.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014





Figuras 10 y 11. Relación precipitación mensual vs. turbiedad promedio mensual para los años 2011 y 2012.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

En la investigación realizada en el año 2014, se establecieron siete puntos de muestreo a lo largo del río Combeima, según se describe en la figura 12, determinándose el comportamiento de la turbiedad en temporada seca y de lluvia, indicado en la figura 13. El primer punto corresponde a la parte alta del río donde no se da intervención antrópica, y el último punto se ubicó en la bocatoma del acueducto de Ibagué (García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014).

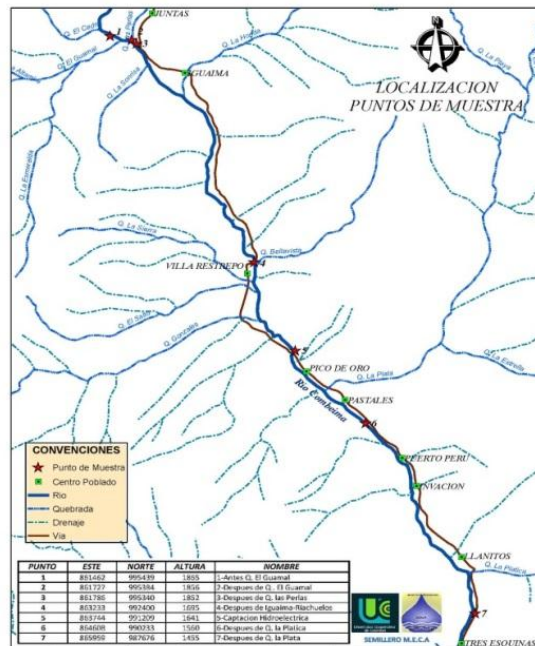


Figura 12. Localización de puntos de muestreo en el río Combeima.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

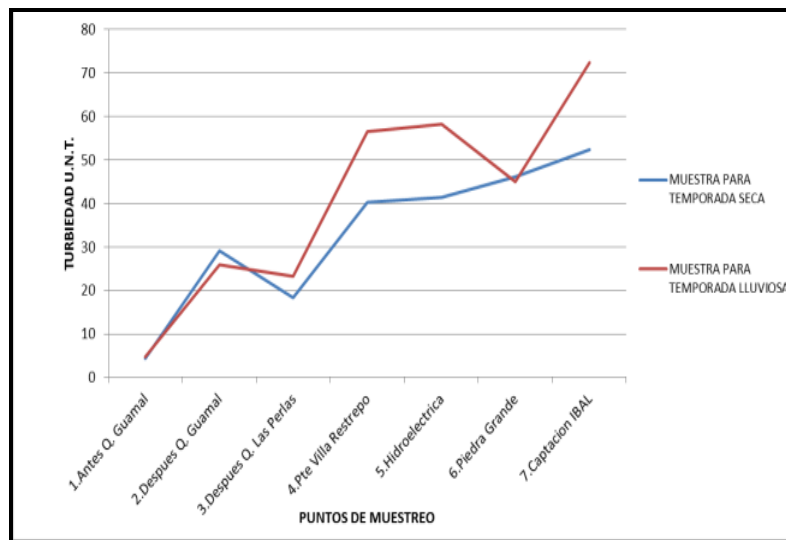


Figura 13. Comportamiento de la turbiedad a lo largo del rio Combeima, año 2014.  
Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

Los resultados obtenidos reflejan el comportamiento similar que la turbiedad tiene a lo largo del río para las dos temporadas evaluadas, cuya tendencia general es a aumentar aguas abajo. Ello permitió la ubicación de las áreas vulnerables que ante el efecto de la lluvia, contribuyen con incrementos de turbiedad en la fuente hídrica. Su localización se define en la figura 14 como áreas con procesos erosivos, localizadas en las sub-cuencas de las quebradas Guamal, la Plata y la Platica; todas ellas afluentes del rio Combeima. Revisadas las fechas de ocurrencia de procesos erosivos relevantes en la cuenca alta del rio Combeima y registrados desde el año 1956, se trata de eventos recurrentes que obedecen a las características geomorfológicas de la cuenca, detonados naturalmente y por potencial intervención antrópica.

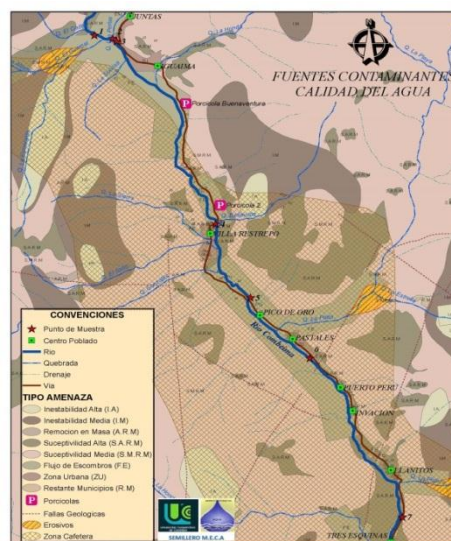


Figura 14. Identificación de áreas con procesos erosivos en el rio Combeima.  
Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014



La conductividad obtenida en el periodo de estudio se graficó en la figura 15, donde se puede apreciar los cambios promedios mensuales a lo largo de los 5 años evaluados y cuya tendencia en general, es a presentar valores similares sin marcada diferencia para cada año. En general, se puede deducir que las condiciones climatológicas de la cuenca alta del río Combeima no incidieron significativamente en el comportamiento de la conductividad, aún a pesar de presentarse valores variados de turbiedad. Si se analizan los valores extremos de conductividad promedio mensual obtenida durante este periodo según se describe en la figura 16, se obtienen valores que oscilan entre 343 mS/cm (marzo de 2010) y 243 mS/cm (junio de 2010); siendo característico el primer semestre de 2010 por presentar los máximos valores correspondientes a esos meses, tiempo durante el cual no se presentó ninguno de los dos fenómenos. El menor valor no coincide con alguno de los dos fenómenos, y se presentó en temporada de lluvia.

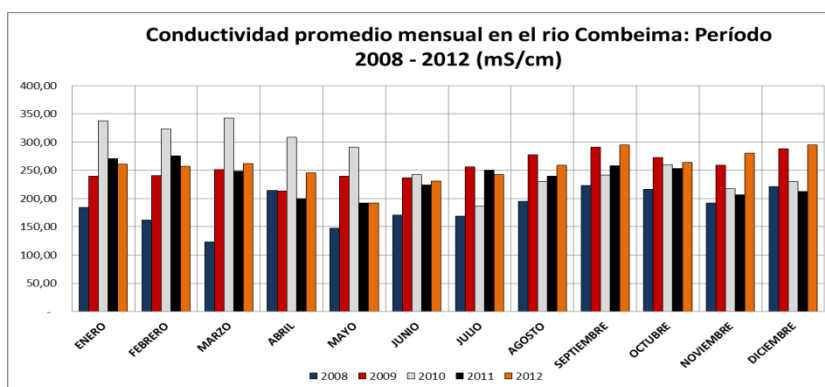


Figura 15. Conductividad promedio mensual en el río Combeima: periodo 2008 - 2012. Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

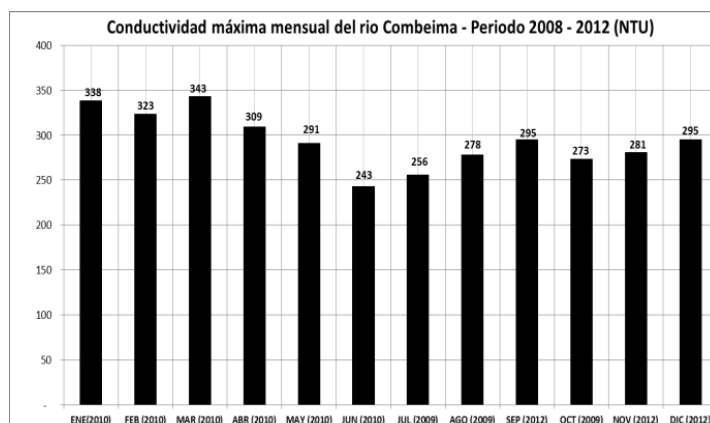


Figura 16. Conductividad máxima mensual en el río Combeima: periodo 2008 - 2012. Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

Con la precipitación mensual registrada durante el periodo en estudio, con excepción del año 2010, se realizó la correlación con la conductividad promedio mensual para los años 2008, 2009, 2011 y 2012, según se indica en la figura 17.

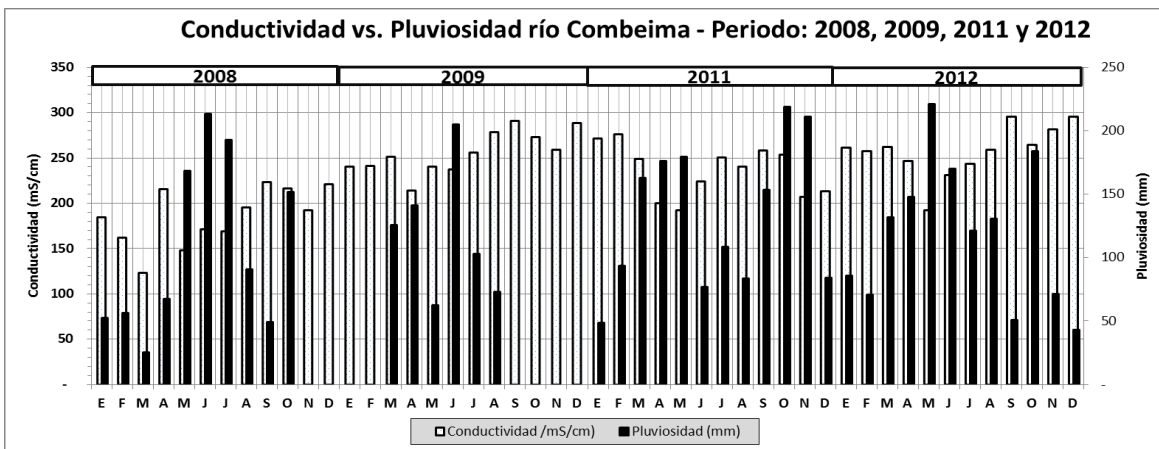


Figura 17. Relación conductividad y precipitación mensual en el río Combeima: Años 2008, 2009, 2011 y 2012.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

Se puede deducir que la conductividad promedio mensual máxima no está ligada a alta o baja precipitación mensual, presentado variaciones que no obedecen al comportamiento de la lluvia, pero existe tendencia a presentarse los valores de conductividad promedio mensual mínimos en tiempo de mayor precipitación mensual, lo cual puede ocurrir por el aumento del caudal del río que disminuye la concentración de sólidos disueltos. La relación entre la turbiedad y la conductividad se realizó para cada año del periodo evaluado, según se indica en la figura 18. El incremento de sólidos suspendidos y coloidales que reflejan aumento de turbiedad en el cuerpo de agua por efecto de la lluvia, no necesariamente implica mayor presencia de conductividad que caracteriza sustancias diluidas en el agua. El comportamiento de la conductividad mensual no presenta una tendencia definida con relación a la turbiedad, lo cual permite inferir que los cambios que sufre no dependen de la mayor o menor depositación de sedimentos que modifican la turbiedad.

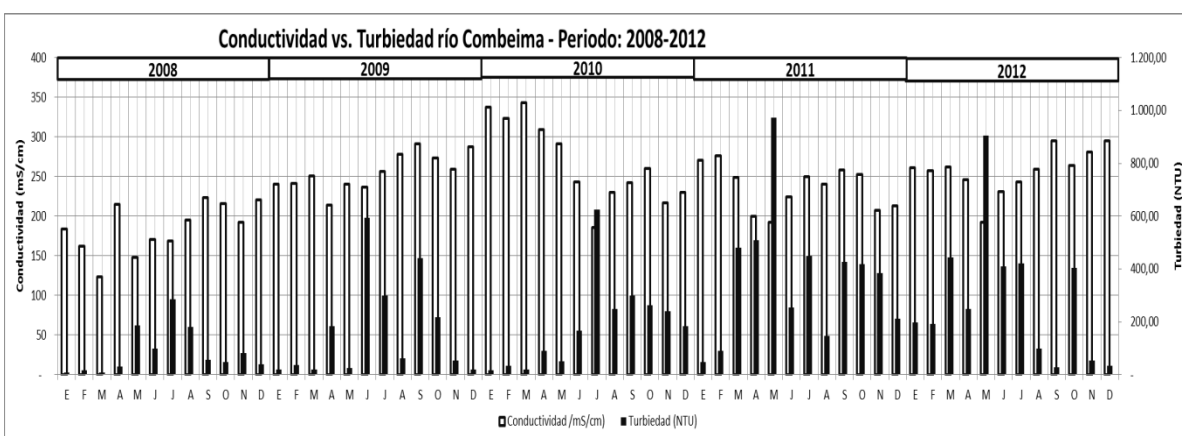


Figura 18. Relación conductividad y turbiedad promedio mensual en el río Combeima: Período 2008-2012.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014



Se determinó el comportamiento de la conductividad en temporada seca y de lluvia, como se indica en la figura 19.

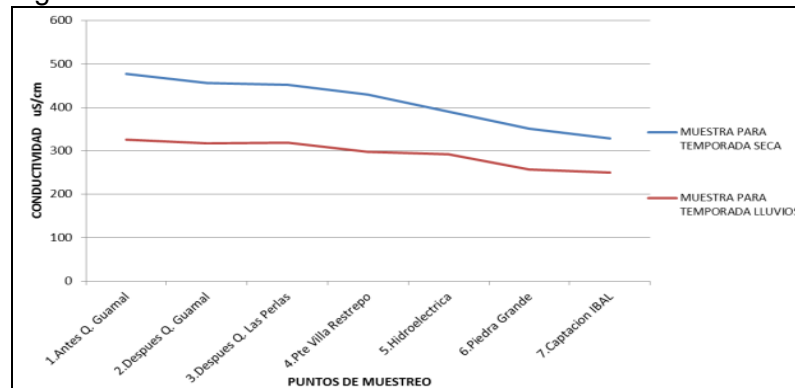


Figura 19. Comportamiento de la conductividad a lo largo del río Combeima, en temporada seca y lluviosa: Año 2014.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

Los resultados obtenidos reflejan el comportamiento similar que la conductividad tiene a lo largo del río para las dos temporadas evaluadas, cuya tendencia general es a disminuir aguas abajo, siendo menor para temporada lluviosa que seca, lo cual sugiere que el aumento de caudal del río Combeima contribuye en la disminución de la conductividad, como se había deducido a partir de los resultados comparativos del periodo 2008-2012. La conductividad inicial del río antes de sufrir descargas por intervención antrópica, obtenida en el punto de muestreo 1, es mayor con relación al final del tramo evaluado ubicado en la bocatoma del acueducto urbano (punto de muestreo 7), pudiendo contribuir en ello el aporte de caudal de los distintos afluentes que concurren, así como la probabilidad que algunos de ellos presenten valores de conductividad menores al río.

Durante el periodo 2008-2012 se presentó altas concentraciones promedio mensuales de contaminación microbiológica que superan el valor de calidad admisible para la destinación del recurso humano y doméstico, según lo establece el Decreto 1594 de 2007 donde para Ct es de 20000 NMP/100 ml y Cf 2000 NMP/100 ml (Ministerio de Agricultura, 1984); a partir de su potabilización solamente mediante tratamiento convencional como el que dispone la ciudad de Ibagué. Para los 60 meses analizados, solamente 7 de ellos presentaron valores inferiores al admisible para Ct, correspondientes a febrero y julio de 2009, febrero y marzo de 2010, noviembre de 2011, enero y septiembre de 2012. Con relación a Cf, ningún mes presentó valor promedio inferior al admisible; como se describe en la figura 20. La relación entre Ct, Cf y turbiedad para el periodo 2008-2012 se graficó en la figura 21, donde se presentó variaciones de concentración que coincidieron entre Ct y turbiedad, siendo característico que el desprendimiento de sedimentos del suelo manifestado como turbiedad en el río, arrastre microorganismos que se incorporen al cuerpo de agua. Las variaciones de Cf no coinciden con la turbiedad, presentándose valores altos con alta y baja turbiedad, por lo tanto no dependieron de ella (García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014).



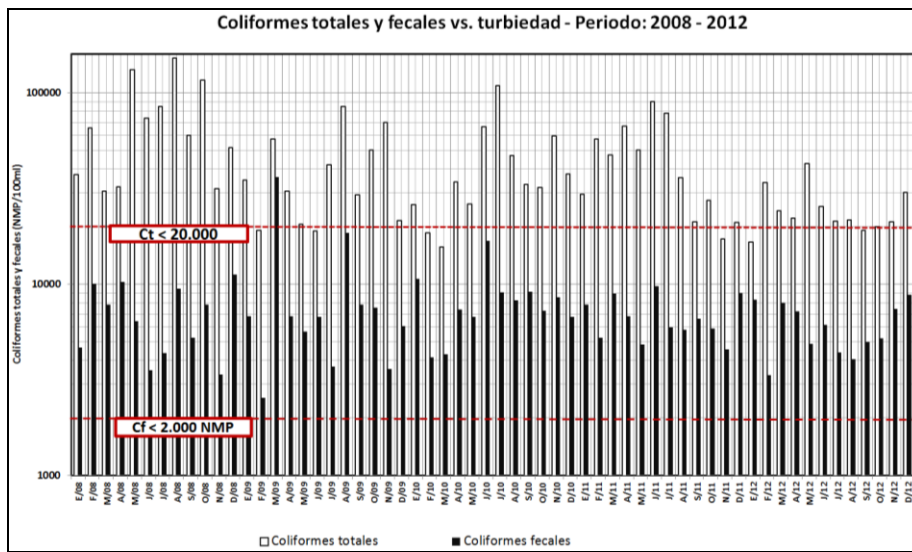


Figura 20. Gráfico de coliformes totales y fecales en el río Combeima. Periodo 2008-2012.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

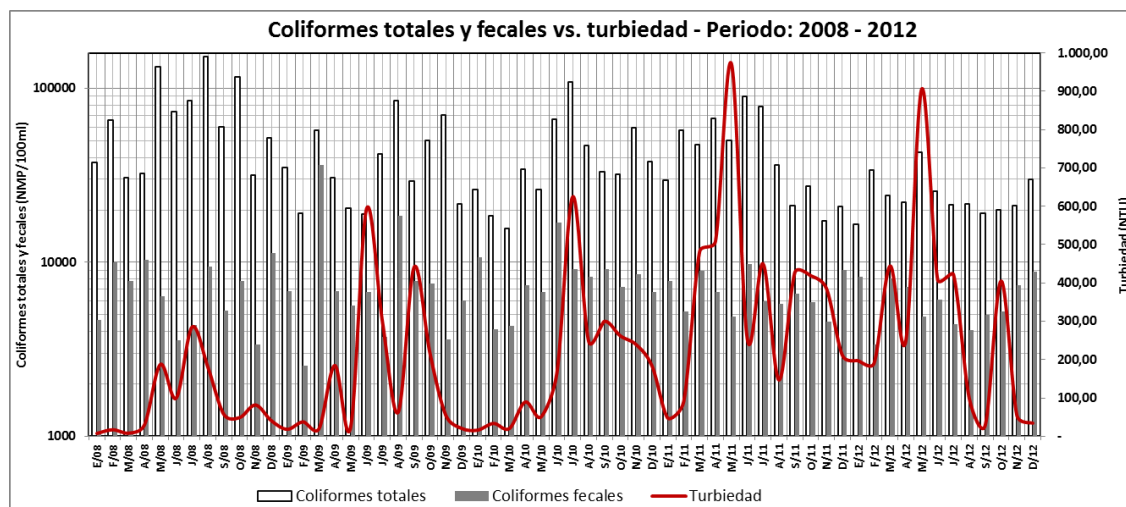


Figura 21. Gráfico de coliformes totales y fecales vs. turbiedad en el río Combeima. Periodo 2008-2012.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

Con las muestras de agua tomadas en el año 2014 en los 7 puntos de muestreo seleccionados, tanto para temporada seca y lluviosa se determinó la concentración de Ct, Cf y turbiedad, graficándose según se describe en la figura 22. Se obtuvo que la mayor concentración de Ct es independiente de la temporada, y la de Cf se presentó generalmente en temporada seca. El punto de muestreo 7 correspondió a la bocatoma del acueducto urbano, donde los Ct y Cf para las dos temporadas superaron el valor máximo admisible por la norma Colombiana ml (Ministerio de Agricultura, 1984), como ocurrió durante el periodo 2008-2012 descrito anteriormente. La turbiedad obtenida en las



dos temporadas muestra mayor concentración en temporada lluviosa, siendo lógico por el arrastre de sedimentos por cuenta de la escorrentía superficial, lo cual indica que de ella no depende la mayor concentración de Cf porque se presentaron en temporada seca.

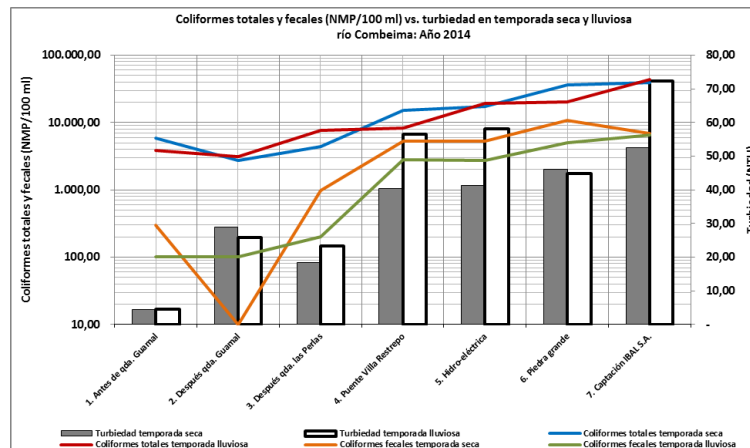


Figura 22. Gráfico de coliformes totales y fecales vs. turbiedad en temporada seca y lluviosa en el río Combeima. Año 2014.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014

La población, actividades pecuarias y hotelería descargan sus aguas residuales al río Combeima, teniendo incidencia directa en su contaminación microbiológica, como se puede apreciar en la figura 23. El valor admisible de Ct de la norma Colombiana para tratamiento convencional ml (Ministerio de Agricultura, 1984), se supera a partir del punto de muestreo 5 (Hidroeléctrica), recibiendo la descarga de las comunidades de Juntas y Villa Restrepo, así como de hotelería y una porcícola. Esta concentración se sigue incrementando hasta la bocatoma. El valor admisible de Cf se supera desde el punto de muestreo 3 localizado después de la desembocadura de la quebrada las Perlas, donde recibe las descargas de la comunidad de Juntas, presentando incremento progresivo hasta la bocatoma.

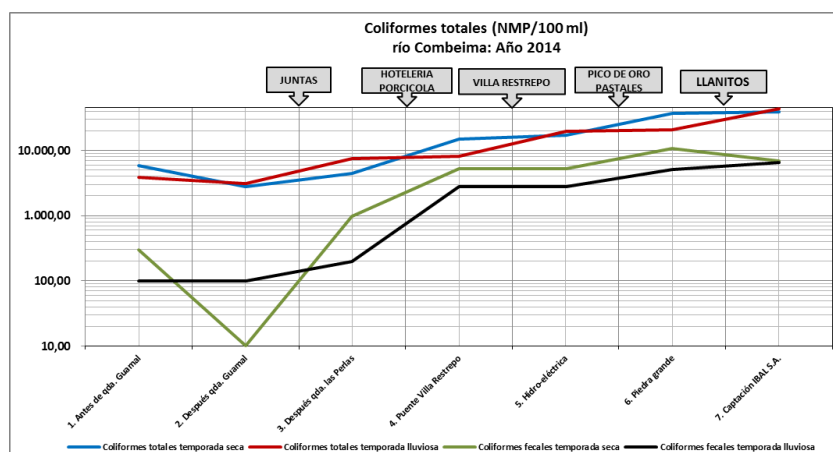


Figura 23. Gráfico de coliformes totales y fecales en temporada seca y lluviosa, a lo largo del río Combeima. Año 2014.

Fuente: García, Gordillo, Tovar, Ospina, 2014



El río Combeima es crucial para el abastecimiento del sistema de acueducto de la ciudad de Ibagué, pero su uso implica riesgo ante su alta contaminación microbiológica que debe ser removida mediante el sistema de tratamiento convencional existente. Como fuente de abastecimiento, dentro de la clasificación de los niveles de calidad en función de parámetros mínimos de análisis microbiológicos, se considera como “muy deficiente” por presentar valores promedios mensuales superiores a 5000 NMP de Ct (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000), como ocurrió durante todo el periodo 2008-2012. Según la “Guía de evaluación de seguridad microbiológica para el agua potable” de la Organización Mundial de la Salud, esta fuente requiere un tratamiento físico intensivo y desinfección según la clasificación descrita en la tabla 3 (WHO & OECD, 2003), al presentar valores promedio mensuales durante el periodo 2008-2012 categorizados como A3 (2000 < Cf < 20000).

Tabla 3. Estándares de coliformes termo-tolerantes para la abstracción de agua destinada a ser potable.

| Category | Thermotolerant coliform concentration/ 100ml | Treatment requirement                         |
|----------|--|---|
|          | A1   |   |
| A2       | 2000   | Normal physical treatment and desinfection    |
| A3       | 20000  | Intensive physical treatment and desinfection |
| A4       | >20000                                       | Not suitable for drinking water production    |

Fuente: WHO, 2003

Esta fuente hídrica es utilizada con fines recreativos mediante contacto primario dada la vocación turística que existe en su cuenca alta, pero ante la contaminación microbiológica obtenida durante el periodo 2008-2012 no se cumple lo establecido en el Decreto 1594, donde se establece que para este fin los valores admisibles de Ct es 1000 NMP y de Cf es 200 NMP (Ministerio de Agricultura, 1984); que ante la ausencia de control al respecto implica riesgo en la salud para quienes recurren a esta práctica recreativa. Para las dos temporadas del periodo 2008-2012 y del 2014, la turbiedad en el sitio de captación del acueducto urbano de Ibagué fue alta, lo cual sumado a la contaminación microbiológica del agua puede contribuir a la incidencia en la salud humana, teniendo en cuenta que se ha hallado clara vinculación entre el aumento de la turbidez y el riesgo de hallar quistes de Giardia y Cryptosporidium (Le Chevalier y Norton, 1992), siendo dos protozoos que, según Domenech, las patologías derivadas de su aparición en el agua potable no radica tanto en su virulencia sino en la presumible indefensión que se encuentra la sociedad desarrollada frente a unos agentes que atraviesan con relativa facilidad las barreras de las plantas potabilizadoras y para los que, por lo menos para la criptosporidiasis, no existe ningún tratamiento farmacológico eficaz (Doménech, 2003).



## Referencias bibliográficas

Climate Prediction Center NOAA. Extraído el día 12 de marzo de 2015 de [http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml).

Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia. CONPES 3570 de febrero 10 de 2009. Estrategias de mitigación del riesgo en la cuenca del río Combeima para garantizar el abastecimiento de agua en la ciudad de Ibagué. Bogotá, 2009.

Departamento Administrativo Nacional De Estadística, DANE. Estimaciones de población 1985 - 2005 y proyecciones de población 2005 - 2020 total municipal por área. Colombia. Bogotá, 2005.

Doménech, Javier. Cryptosporidium y Giardia, problemas emergentes en el agua de consumo humano. Ámbito farmacéutico. Sanidad Ambiental. Vol 22 núm 11 diciembre 2003.

Empresa Ibaguereña De Acueducto Y Alcantarillado – IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL. Extraído el día 30 de Marzo de 2015 de <http://www.ibal.gov.co/proyectos/44monitoreocuecas.htm>.

Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado IBAL S.A. E.S.P. Oficial. Futuro y realidad del recurso hídrico en la ciudad de Ibagué. Extraído el día 22 de marzo de 2015 de:

[http://www.ibal.gov.co/ARCHIVOS%20TALLER%20PDF/ING\\_CARLOS\\_JOSE\\_CORRAL\\_ALBARELLO.pdf](http://www.ibal.gov.co/ARCHIVOS%20TALLER%20PDF/ING_CARLOS_JOSE_CORRAL_ALBARELLO.pdf)

Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado IBAL S.A. E.S.P. Oficial. Postulación de soluciones a la problemática del agua en Ibagué. Extraído el día 22 de marzo de 2015 de: <http://www.ibal.gov.co/ibal/soluciones2012.pdf>

García G., Gordillo J., Tovar K., Ospina O. Modelo MECA – Evaluación de cargas contaminantes en la cuenca alta del río Combeima. [Tesis de pre-grado]. Ibagué: Universidad Cooperativa de Colombia sede Ibagué, 2014.

Ministerio De Agricultura. Decreto 1594 (26, Junio, 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá, 1996.

Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Decreto 3930 (25, Octubre, 2011). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá, 2011.

Ministerio De Desarrollo Económico. Resolución 1096 (17, Noviembre, 2000). Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Bogotá, 2000.

Ministerio De La Protección Social Y Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 (22, Junio, 2007). Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá, 2007.

Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable - Tercera Edición, Volumen 1. Ginebra, 2004.

Ospina, O. El riesgo del agua superficial. ISBN 978-958-46-2729-2. Ibagué, 2013.

Superintendencia de Servicios Públicos. Informe ejecutivo de gestión Empresa Ibaguereña de acueducto y alcantarillado, IBAL, S.A E.S.P- Oficial. Superintendencia



---

delegada para acueducto, alcantarillado y aseo. Dirección Técnica de acueducto y alcantarillado. Bogotá, Septiembre de 2013.  
WHO & OECD, EC directive 75/440/EEC. 2003.