

ARTÍCULO RES006



Artículo

PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DE LOS PROYECTOS DE CALIDAD AMBIENTAL. CASO: PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES MUNICIPALES

634

*Guidelines for the analysis of the sustainability of
environmental quality projects. The case of the treatment of
municipal effluents*

SERGIO CAÑIZARES ARANGO¹, JOSÉ PÉREZ ROA,
KRETHEIS MÁRQUEZ y CARLOS ESPINOSA

¹ Universidad de Los Andes, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT), Mérida, Venezuela. E-mail: sergioconiza@gmail.com

Recibido: 13/05/15. Aceptado: 21/11/15.

RESUMEN

Un problema tácito que existe en los países latinoamericanos es el manejo de los efluentes municipales, siendo la formulación y ejecución de proyectos en este sector de vital importancia para el desarrollo de un país. Todos los proyectos que tienen que ver con el sector agua potable y su saneamiento deben ser formulados, estructurados y evaluados desde una perspectiva amplia, mostrando cada uno de los requerimientos y tareas necesarias para que no solamente cumplan sus objetivos, sino que además, sean amigables con el ambiente, beneficien a las clases más necesitadas y sean factibles económica y financieramente. El éxito de las inversiones, viene sujeto a una buena asignación de los recursos económicos. Para esto, es imprescindible identificar los mejores proyectos, y es precisamente aquí donde el trabajo de investigación planteado tiene su importancia, ya que a través del procedimiento que se va a mostrar, se podrán ampliar los conocimientos sobre el desarrollo del análisis de sostenibilidad y reducir los riesgos de fracaso de los proyectos de calidad ambiental.

PALABRAS CLAVE: Sustentabilidad, análisis ambiental, análisis social, análisis económico-financiero, aguas residuales.

REVISTA ECODISEÑO Y SOSTENIBILIDAD
ISSN-1856-9552

Sede: Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Laboratorio de Ecodiseño y Sostenibilidad.
Galpón Principal en Tercer Piso. Avenida Principal hacia Chorros de Milla frente a Restaurant Chino. Conjunto Forestal. Mérida 5101, Venezuela.
Teléfonos LNPF: 0058-4121269540/CEFAP:(58 – 274) 2401920; Fax 2401090. E-mail: revecodisenoyostenibilidad@gmail.com

SUMMARY

In Latin American countries there is a tacit problem with the management of the municipal effluents, disregarding the vital role played in the development of any country by the appropriate development and implementation of projects in this area. All projects concerning the treatment and sanitation of drinking water must be outlined, structured and evaluated from a wide perspective. They should state all the individual requirements and tasks necessary not only for the fulfillment of their objectives, but they should also be environmentally friendly, of benefit to the low socio-economic classes and economically and financially feasible. The success of these investments will depend on the proper allocation of economic resources. In order to do this, it is essential to identify the best projects. The main contribution of this study is the fulfillment of this gap. The procedure we are presenting has the purpose to further our knowledge of the development of sustainability analysis and the reduction of the risk of failure of environmental quality projects.

KEY WORDS: Sustainability, environmental analysis, social analysis, economic and financial analysis, wastewater.

1. INTRODUCCIÓN

El saneamiento ambiental constituye hoy en día una prioridad en los países desarrollados y en vías de desarrollo industrial. El consumo masivo de los recursos naturales para obtener materias primas y cubrir las necesidades de los seres humanos, ha llevado a la contaminación ambiental a un grado tal, que ya no se puede hablar en términos de mitigación o de protección, hoy en día se habla de recuperación y saneamiento. Uno de los recursos que se ve más afectado dentro de este proceso de polución es el agua. Su demanda en estado apto para el consumo cada vez es mayor, y la forma en que este recurso se maneja actualmente, en términos generales, no es la apropiada, lo que desmejora su calidad cada vez más. Dado esto, es notorio que la depuración del agua es un factor importante para la salud pública de un país, puesto que el mejoramiento en la calidad del agua representa una disminución en las enfermedades de origen hídrico.

Es evidente que el proceso de crecimiento de un país está atado a las inversiones que en él se realicen y en la forma en que se administren esas inversiones. Esto en los proyectos se interpreta como efectividad y eficiencia a la hora de cumplir los objetivos. Muchas veces los proyectos de calidad ambiental referentes al tratamiento de efluentes domésticos no cumplen sus objetivos y además no perduran en el tiempo, terminando en fracaso. En este sentido, la investigación que se realizó tiene como objetivo general contribuir a la selección de proyectos de calidad ambiental dirigidos al tratamiento de efluentes municipales, bajo una óptica de

sostenibilidad. En este orden de ideas los objetivos específicos del trabajo son proponer una metodología para la ejecución del análisis ambiental, social y económico-financiero de los proyectos de calidad ambiental en el caso específico de efluentes domésticos. De ahí que se presente un resumen de los diferentes pasos a realizarse para englobar estos proyectos desde el punto de vista de la sostenibilidad, en artículos posteriores se explicaran a detalle cada uno de los análisis.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto de investigación se Para lograr los objetivos que se plantearon en la investigación, se desarrolló una metodología que consistió en cinco fases:

2.1. FASE EXPLORATORIA

Esta fase fue realizada con la finalidad de conseguir la problemática relacionada con la sostenibilidad de los proyectos de tratamientos de efluentes domésticos, y establecer los objetivos e importancia de la investigación propuesta.

2.2. FASE DESCRIPTIVA-COMPARATIVA

En esta fase del trabajo se procedió a realizar una investigación documental para establecer los conceptos y definiciones técnicas que son requeridos, así mismo se realizó una revisión bibliográfica de diferentes trabajos que llevan implícito el enfoque de la sostenibilidad. Esta revisión conlleva:

- Conceptualización y definiciones fundamentales relativas a las aguas residuales y su tratamiento, y de los análisis ambiental, financiero-económico, social y de sostenibilidad.
- Descripción de los elementos técnicos para la realización de este tipo de proyectos.
- Descripción de las leyes establecidas en Venezuela para la realización de los proyectos arriba mencionados.
- Revisión bibliográfica de la sostenibilidad y de los distintos análisis que deben realizarse para determinar la sostenibilidad de proyectos.

2.3. FASE DE PROPUESTA

En esta etapa de la investigación se presenta una serie de pasos para la elaboración de un análisis de sostenibilidad en proyectos de calidad ambiental, el caso particular de los efluentes domésticos, estos pasos están estructurados en una serie de análisis a realizarse, los cuales se plantean en la figura 1.

2.3.1. ANÁLISIS AMBIENTAL

Usando como base para este análisis las leyes vigentes en Venezuela representadas dentro del sector saneamiento del agua por el Decreto 883 (República de Venezuela, 1995), se establecieron los siguientes pasos:

- Descripción del Proyecto.
- Caracterización ambiental (Figura 2).
- Identificación de impactos.
- Selección de impactos.
- Descripción del impacto ambiental.
- Evaluación del impacto ambiental.

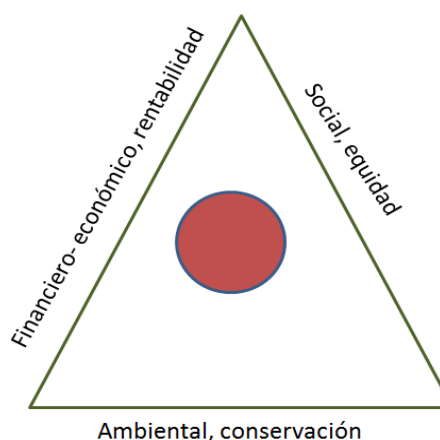


FIGURA 1. Triángulo de la sustentabilidad.
Fuente: Elaboración propia.

El indicador que se usara para evaluar el impacto ambiental será el puntaje ambiental que se establece al utilizar la metodología RIAM (Rapid Impact Assessment Matrix) (Pastakia y Jensen, 1998) (Cuadro 1).

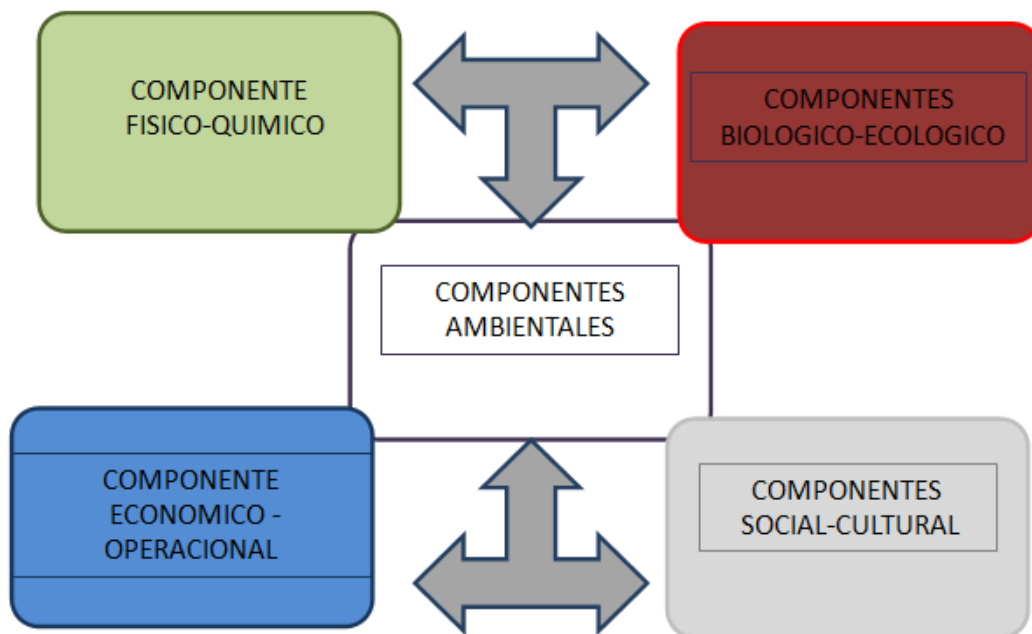


FIGURA 2. Aspectos a describir en una caracterización ambiental. Fuente: Pérez y Márquez (2013).

CUADRO 1. Rangos según puntaje (ES) para jerarquizar los impactos en el RIAM. Fuente: Pastakia y Jensen (1998).

PUNTAJE (ES)	RANGO	INTERPRETACIÓN
+72 a +108	+E	Cambio/Impactos positivos mayores
+36 a +71	+D	Cambio/Impactos positivos significativos
+19 a +35	+C	Cambio/Impactos positivos moderados
+10 a +18	+B	Cambio/Impacto positivo
+1 a +9	+A	Cambio/Impacto ligeramente positivo
0	N	Sin Cambios o importancia
-1 a -9	-A	Cambio/Impacto ligeramente negativo
-10 a -18	-B	Cambios/Impacto negativo
-19 a -35	-C	Cambio/Impactos negativos moderados
-36 a -71	-D	Cambio/Impactos negativos significativos
-72 a -108	-E	Cambios/Impactos negativos mayores

2.3.2. ANÁLISIS FINANCIERO-ECONÓMICO

Aldunate (2009), establece la importancia de definir hacia quien va dirigido el proyecto, es decir hacia el sector público o privado, en donde se diferencia contextualmente que la evaluación financiera va dirigida expresamente hacia el sector inversionista privado, mientras que la evaluación económica va dirigida hacia la sociedad, ya que el que invierte es el Estado; de ahí que los precios que se utilizan en la evaluación financiera son los precios establecidos por el mercado y los precios económicos dependen de la relación precio cuenta o precios de sombra. El Estado no paga impuestos, pero en cuanto al inversionista privado, desde el punto de vista financiero, se toman en cuenta ya que deben ser pagados en las evaluaciones económicas (Cuadro 2). Por ello, en este trabajo se utilizarán como indicadores para la sostenibilidad del proyecto el *Costo Anual Equivalente* (CAE) para el análisis financiero, y un análisis costo-beneficio, para el análisis económico.

Los pasos para la realización del análisis financiero son:

- Se obtienen los costos con los datos de inversión, costos por operación y mantenimiento, costos de las medidas ambientales y costos administrativos, en bolívares o en la moneda correspondiente al lugar del proyecto.
- Se calcula el *Valor Presente de los Costos* (VPC), el cual permite comparar alternativas de proyecto de igual vida útil, y la mejor alternativa desde el punto de vista técnico financiero es aquella con menor VPC.
- En función del VPC se calcula el *Costo Anual Equivalente* (CAE). El CAE es un término utilizado para describir la cantidad de dinero similar por año de los costos de un proyecto durante la vida útil del mismo y permite comparar alternativas con distinta vida útil.

Para el análisis económico:

- Una vez realizado el análisis financiero se procede a ejecutar el análisis económico. Como ya se tienen los costos estos deben llevarse a precios económicos. Dado que en Venezuela no existe una relación precio cuenta, se pueden usar la relación precio cuenta de otro país asumiendo que son iguales, y de esta manera obtener dichos precios para proceder luego a realizar los cálculos de VPC y CAE.
- Para obtener los beneficios de estos proyectos de aguas servidas se puede usar el *Método de Valoración Contingente*. El método consiste en consultar los cambios en

el bienestar de las personas ante un cambio en bienes o servicios ambientales. La valoración contingente debe realizarse por medio de encuestas en la zona que se verá beneficiada o afectada por el proyecto.

- Después de obtener los beneficios de la valoración contingente, y los costos anuales equivalentes, y usando como referencia recomendaciones del banco asiático de desarrollo (Asian Development Bank), 1999), el cual establece que dentro de los análisis económicos debe realizarse un análisis costo/beneficio. Se procede a realizar una comparación entre los gastos que generan los costos y los beneficios del proyecto, así se determina si existe ganancias o pérdidas en la ejecución del proyecto, comparando entre las distintas alternativas que se tienen de cual aporta mayores beneficios en términos monetarios.

CUADRO 2. Diferencias entre el análisis financiero y económico. Fuente: Pérez (2013).

Tópico	Eval. Financiera	Eval. Económica
Punto de vista	Privado	Sociedad
Precios	Mercado	Económicos, sombra, de cuenta.
Tasa de descuento	Mercado	Social, económica
Gastos de transferencia	Incluye pago de deuda, impuestos, subsidios	No los incluye
Indicador de rentabilidad	VAN, TIR, CAE	VAN, TIR, CAE

2.3.3. ANÁLISIS SOCIAL

Los pasos para realizar este análisis, son:

- Se deben buscar los datos del último censo, de las poblaciones que se verán afectadas por el proyecto.
- Se investigan los diferentes estratos económicos de las poblaciones y se clasifican según los diferentes salarios que puedan tener.
- Se calcula el beneficio anual neto equivalente del proyecto, el cual corresponde a la diferencia entre el beneficio anual y el costo anual equivalente del análisis económico.
- Se divide el valor de los ingresos familiares, entre el beneficio anual neto equivalente, el resultado que se obtiene se multiplica por cien para mostrarlo en porcentajes.

- Si el porcentaje aumenta en dirección de los menores salarios se tendrá una equidad progresiva, si aumenta en dirección de los salarios más altos se tendrá una equidad regresiva y por último, si los porcentajes son iguales se tendrá una equidad de tipo equitativa.

2.3.4. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

Según el grupo Capital Sustentable (2011), que expresa que en la sostenibilidad debe avanzar paralelamente el desarrollo económico, la justicia social y la protección ambiental, conllevó que se ejecutara una investigación documental acerca de los distintos procedimientos y herramientas para la toma de decisiones que permitan ejecutar el análisis de sostenibilidad basado en la conjunción de esos factores. Con base en esto se revisaron programas que permitan la integración de diferentes criterios, para determinar precisamente la sostenibilidad de un proyecto del tipo que la investigación plantea. Este análisis es la evaluación del proyecto dadas todas las variables como lo son ambiental, financiera, económica y social (Cuadro 3), estas variables se procesarán en el software Expert Choice Versión 11, el cual según Ghigliazza y Lupo (2013) es una herramienta que permite un enfoque multicriterio jerárquico de toma de decisiones, que bajo la óptica de varios profesionales determinará si una alternativa de proyecto es sostenible o no.

CUADRO 3. Resumen de los análisis y sus indicadores. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Análisis	Indicador
Ambiental	Puntaje ambiental
Financiero	Costo anual equivalente
Económico	Relación costo/beneficio
Social	Equidad
Sostenibilidad	Juicio de expertos

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para ejemplificar cada uno de los pasos que la investigación propone, se presenta un caso de estudio que establece tres propuestas de tratamiento de aguas municipales en la planta de tratamiento del Río el Salitre en Colombia, al cual se le aplica la metodología que la investigación plantea.

3.1. ANÁLISIS AMBIENTAL

3.1.1. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Se desea construir una planta de tratamiento primario y secundario para el río Salitre, esta planta presenta tres posibilidades de desarrollo: **A.** Es un tratamiento primario con el que desaparecerán los olores fétidos y los sólidos flotantes desagradables que se presentan en la actualidad. No obstante, este tratamiento hará que el agua tenga un olor característico, que se describe como “*musty*” (rancio, mohoso, añejo); **B.** Se abarca el tratamiento primario y un tratamiento secundario con el que desaparecerá todo tipo de olor y el río recuperará su color natural; **C.** Ofrece aparte de las anteriores, un proceso de desinfección en el tratamiento secundario que reducirá drásticamente la población de agentes patógenos dentro del río. Cada opción podría generar ciertos beneficios, tales como:

- Eliminación de los malos olores producidos por el agua contaminada; genera el beneficio de poder caminar y jugar por las orillas del río una vez que el agua sea descontaminada. Este será el nivel de calidad A.
- Genera un mejoramiento estético del río. Este será el nivel de calidad B.
- Genera la disminución en los riesgos a la salud, asociados a una enor considerado como la presencia de agentes patógenos en el río y con miras a poder navegar por este. Este será el nivel de calidad C.

La planta de tratamiento (PTAR) el Salitre, contempla un tratamiento primario adaptado y químicamente asistido, que cuenta en sus instalaciones con dos etapas de cribado, conformado por un desarenador, desengrasado y clarificación para las aguas residuales. Sobre los lodos generados con el tratamiento se efectúan operaciones de espesamiento, digestión y deshidratación. Adicional al agua tratada dos subproductos son obtenidos: biogás y biosólidos. (Figura 3).

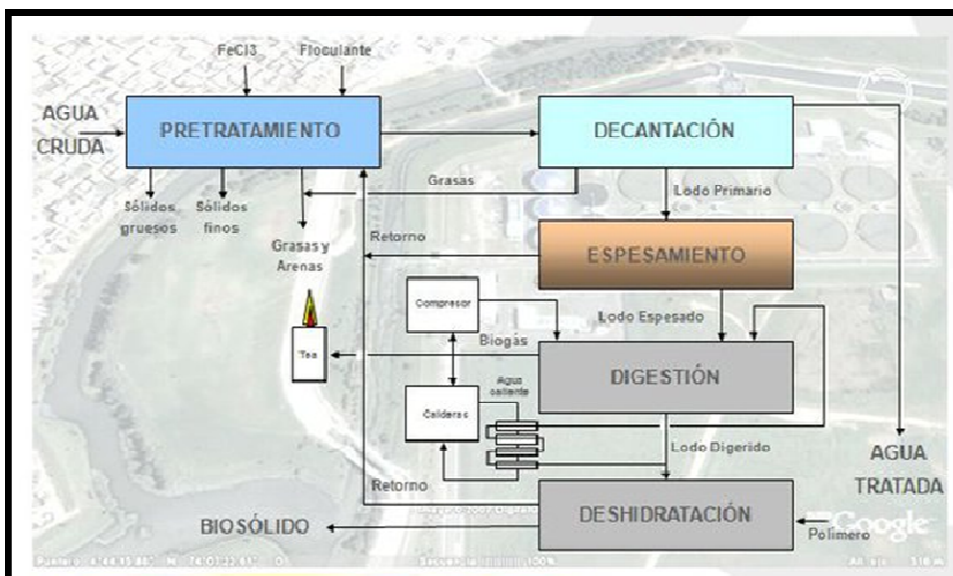


FIGURA 3. Esquema general de la planta de tratamiento. Fuente: Navarro (2010).

3.1.2. ÁREAS DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

Las localidades afectadas son las poblaciones conocidas como Engativá y Fontibón (Figura 4), las cuales se describen a continuación:

- **ENGATIVÁ.** Pertenece al Distrito Capital de Bogotá, teniendo una población que para el año 2005 era de aproximadamente 893.944 hab. Limita al Norte con la localidad Suba por medio del río Juan Amarillo, al Oriente con las localidades de Barrios Unidos y Teusaquillo por medio de la Avenida Carrera 68, al Occidente con el Municipio de Cota por medio del río Bogotá y al Sur con la localidad Fontibón por medio de la Avenida el Dorado y el costado norte del Aeropuerto El Dorado.
- **FONTIBÓN.** Pertenece al Distrito Capital de Bogotá, su población era para el año 2005 de aproximadamente 327.933 hab. Limita al Norte con la localidad de Engativá al Oriente, con las localidades de Puente Aranda y Teusaquillo; al Occidente, con la ribera del río Bogotá y los municipios de Funza y Mosquera, y al Sur, con la localidad de Kennedy (Figura 5).

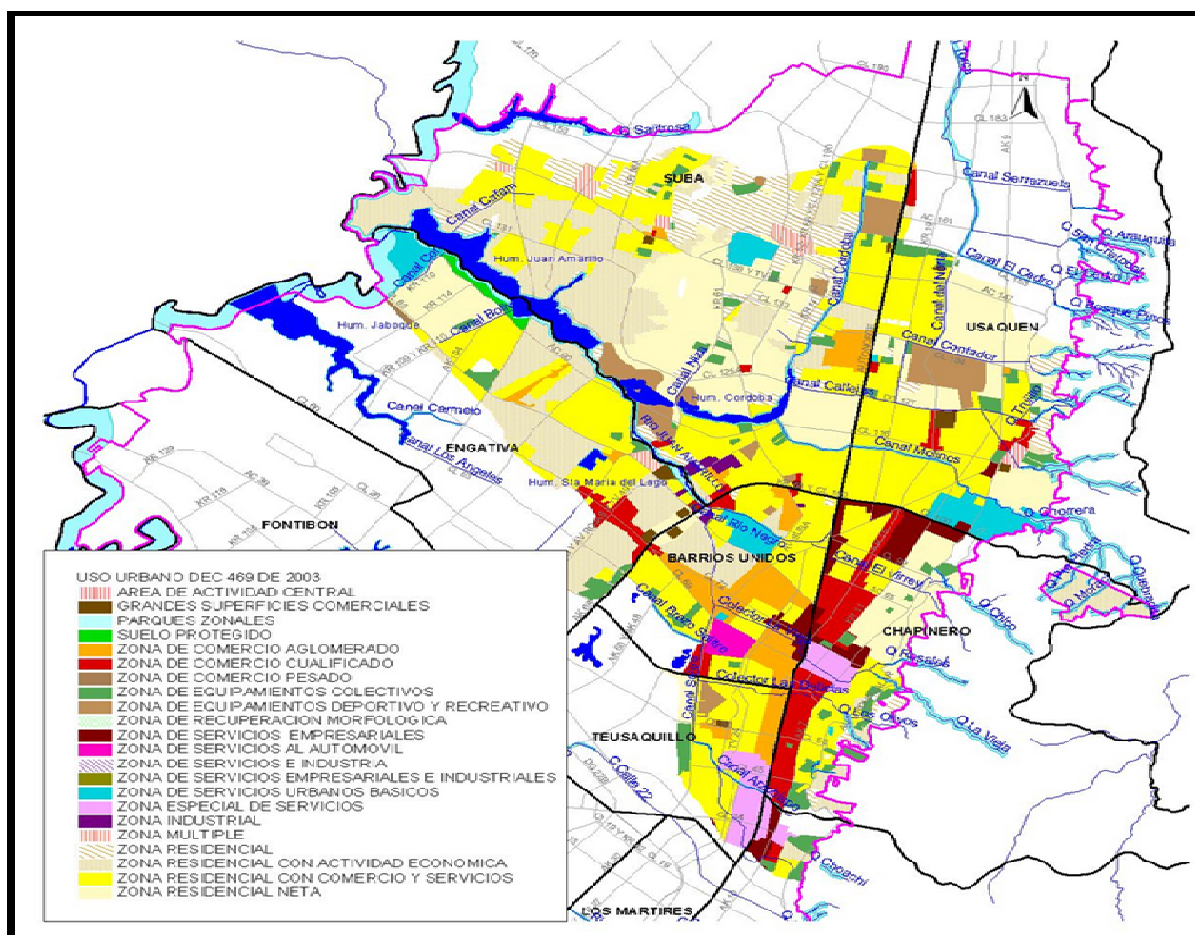


FIGURA 4. Poblaciones de influenciadas por el proyecto. Fuente: Osorio (2009a).

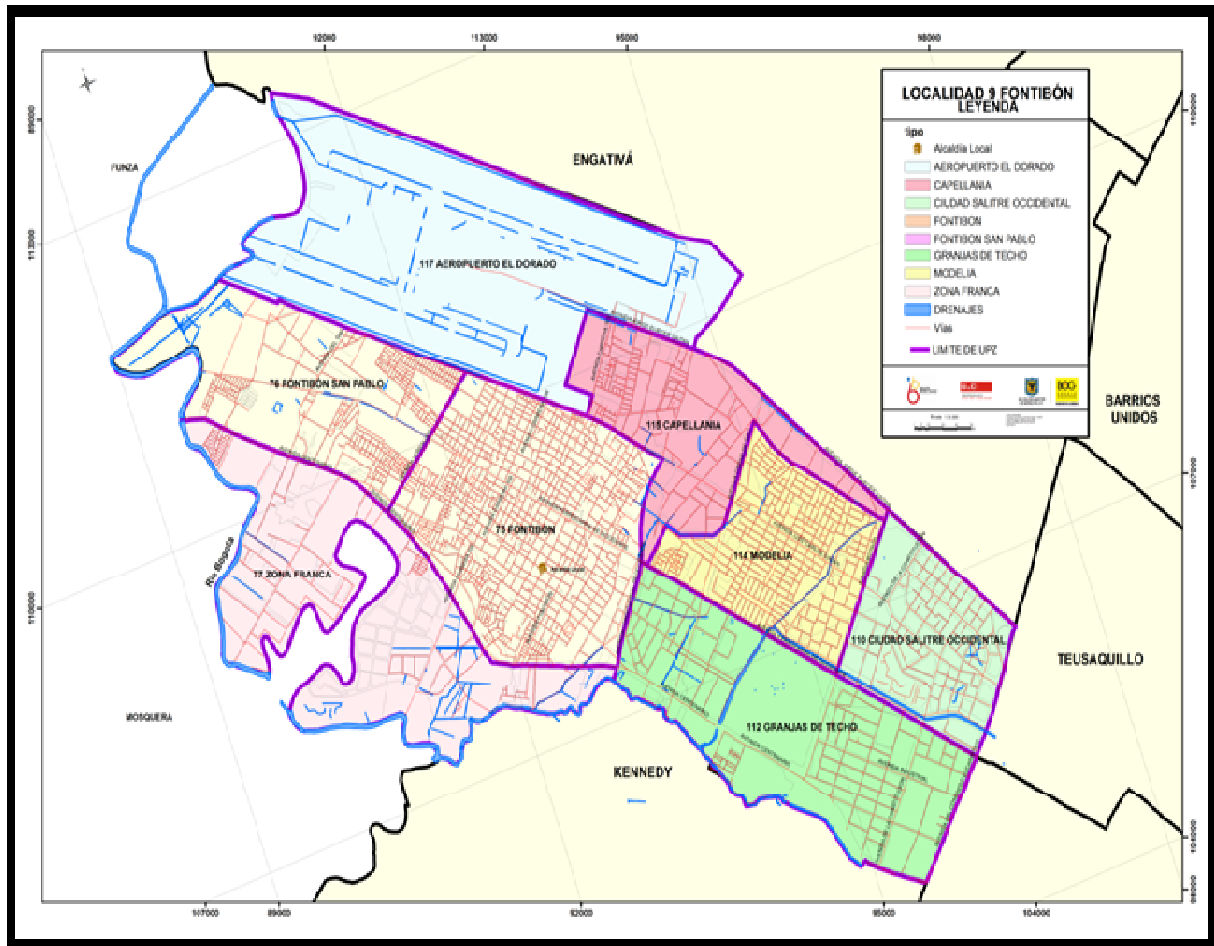


FIGURA 5. Mapa de la localidad de Fontibón. Fuente: Osorio (2009b).

3.1.2. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

Ambas localidades pertenecen al Distrito Capital de Bogotá y sus características ambientales generales son las siguientes:

- **GEOLOGÍA.** La Sabana de Bogotá está localizada en la parte central de la Cordillera Oriental y en ella afloran rocas desde el periodo Cretácico Superior al Cuaternario las cuales evidencian diferentes condiciones de sedimentación. Las rocas más antiguas están representadas en las formaciones Chipaque, La Frontera, Simijaca y Conejo (Turoniano-Santoniano); Ésta

sedimentación tuvo lugar en ambientes marinos con la depositación de 1.200 m aproximados de secuencia.

A partir del Campaniano las condiciones de sedimentación varían y se deposita en zonas distales la Formación Lidita Superior y la Formación Arenisca Dura en zonas proximales y continúa la sedimentación en el Campaniano Superior con la Formación Plaeners; la regresión se completa y deja como último registro marino la Formación Labor- Tierna y la parte inferior de la Formación Guaduas y empieza una sedimentación continental de tipo fluvial. En el Paleógeno y Neógeno la sedimentación de origen fluvial dio origen a las formaciones Cacho, Bogotá, Regadera y parte de Tilatá.

El Mioceno es una época de tectónica activa, plegamientos, fallamiento y levantamiento de la Cordillera Oriental y afecta las formaciones antes depositadas y posiblemente se forme la cuenca de la actual Sabana de Bogotá; de éste evento al parecer quedaron registros de algunos vestigios tales como la Formación Chorrera, Marichuela y luego originó el relleno de esta cuenca con las formaciones Subachoque, río Tunjuelito y Sabana acompañados de eventos de glaciación que generaron los depósitos de la Formación Siecha y Chisacá. Dentro del área de la Sabana de Bogotá se puede establecer dos estilos estructurales: el primero, localizado en el flanco oriental de la Cordillera Oriental, al oriente del sinclinal de Checua, con fallas de cabalgamiento convergencia al Oriente y las otras de menor importancia se comportan como retro cabalgamiento convergencia hacia el Occidente.

El segundo estilo estructural se presenta al occidente, esta caracterizado por fallas de cabalgamiento convergencias al occidente como sistemas imbricados que nacen y son controlados por fallas de dirección noroeste que sirven como rampas laterales. Además de las estructuras regionales, existen zonas con diapirismo de sal generalmente localizadas en el núcleo de los anticlinales. El diapirismo es un generador de estructuras muy complejas como las observadas en Zipaquirá, Nemocón y posiblemente entre el sector de Sesquilé y La Calera.

- **RELIEVE.** Ambas localidades presentan una topografía plana, ligeramente inclinada de oriente a occidente, predominando una tipología de valle aluvial.
- **SUELOS.** El uso del suelo se define en función del tipo de actividad que se puede desarrollar en el mismo de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial el Suelo de Bogotá, el cual se clasifica como: suelo urbano, suelos de expansión urbana y suelo rural.

- **CLIMA.** Bogotá está situada en el altiplano cundiboyacense y cuenta con lluvia menos de 200 días al año, presentando grandes contrastes entre sitios relativamente cercanos. En la Sabana de Bogotá, por ejemplo, caen alrededor de 1.500 mm anuales en las estribaciones de los cerros orientales, mientras que en el sector suroccidental del altiplano caen cerca de 500 mm al año. Los meses de enero y febrero son los más secos y octubre y noviembre los más lluviosos. La sabana tiene una temperatura promedio de 14°C, que puede oscilar entre los 9°C y los 22°C; las temperaturas en los meses de diciembre, enero y marzo son altas, presentándose grandes variaciones y siendo normal que predominen días secos y soleados, aunque puedan experimentar bajas temperaturas en las noches y heladas en las madrugadas.

Durante los meses de abril y octubre las temperaturas promedio son más bajas, pero sus variaciones son menores. Engativá tiene una temperatura promedio de 14,6°C y una humedad relativa de 75% típicas de la zona media de la ciudad. Es de anotar que el área urbana puede presentar entre dos y tres grados más de temperatura que las zonas rurales, debido a la gran masa construida de la ciudad y materiales como concreto y el vidrio que refleja buena parte de la energía solar recibida. La ciudad tampoco no ha sido ajena al cambio climático global, ya que en los últimos años ha presentado alteraciones climáticas, como aguaceros muy fuertes, que causan inundaciones y granizadas inesperadas en algunas partes de la ciudad. Igualmente se han presentado fenómenos de vientos inusuales que levantan tejados y generan pérdidas económicas.

- **HIDROGRAFÍA.** En el caso de la población de Engativá el sistema hidrológico pertenece a la cuenca del río El Salitre (o Juan Amarillo) y al río Bogotá en el costado occidental. La localidad también cuenta con tres humedales de gran interés para el distrito: el humedal Jaboque, el humedal Santa María y el humedal Juan Amarillo o Tibabuyes con el que limita por el costado norte con la localidad Suba. Dentro de la localidad se encuentran los canales Boyacá, Marantá, Bolivia, Cortijo, Jaboque, los Ángeles y el Carmelo. El río Bogotá constituye el límite del costado occidental de la localidad, la otra orilla corresponde al Municipio de Cota. El río se encuentra en ordenación, es decir, está en la etapa de formulación del Plan de Ordenación y Manejo en toda su cuenca que incluye 19 sub cuencas, 45 municipios y el área del Distrito Capital. En el borde de la localidad Engativá, el río Bogotá recibe las descargas de aguas servidas altamente contaminadas de los asentamientos subnormales.

Por su parte la localidad de Fontibón, en los límites Sur y occidental está bordeada por los ríos Bogotá y Fucha. Este último, es el resultado de la confluencia de los ríos San Francisco y San Cristóbal y drena el centro de Bogotá y su principal zona industrial. Así mismo, forma parte de la red hidrográfica el canal de San Francisco, que se extiende desde la Avenida El

Espectador y se une con el caño Boyacá, desde el río Fucha, pasando por la Autopista El Dorado, para desembocar en el río Bogotá, en esta localidad también se encuentran los humedales de Capellanía y Meandro del Say.

- **VEGETACIÓN.** El bosque Andino alto, se caracteriza por una vegetación alta y cerrada con bosques de encenillo y otras especies como pegamoscos, gaque, canelo espino, arrayan y uva. El bosque andino bajo, aparece en las laderas bajas de los cerros, está formado por una gran diversidad de especies como el gomo, el mano de oso, el trompeto, el cedrillo, el raqué y gran variedad de helechos, frailejones, chusque, tagua y líquenes entre otros.
- **FAUNA.** En los reductos secundarios se encuentran mamíferos pequeños como ratones forestales, murciélagos nectarívoros, marsupiales, comadreja y zorros; y unas 58 especies de aves lo que corresponde al bosque andino alto. En el bosque andino bajo existen algunas comadreja, runchos y cánidos. En cuanto a las aves hay mirra negra, golondrina, cernícalo, chirlobirlo, copetones, cucaracheros y variedad de colibríes.
- **ASPECTOS DEMOGRÁFICOS.** De acuerdo con las proyecciones de población realizadas a partir del Censo General de la República de Colombia de 2005, la población de Bogotá para 2011 es de 7.467.804 personas y la de Engativá de 843.722, lo que representa el 11,3% de los habitantes del Distrito Capital. Se estima que en esta localidad la distribución por género es de 402.653 hombres y 441.069 mujeres. Se proyecta un aumento de la población del 3,7 % de 2011 a 2015, tasa de crecimiento menor que la de ciudad (5,5%), lo que resulta en 874.755 habitantes en 2015 en la localidad. En relación con la distribución de la población por grupos de edad, en Engativá las personas entre 0 y 15 años representan el 21,8%; entre 15 y 34 años, el 33,7%; entre 35 y 59, el 33,1% y mayores de 60 el 11,3%, lo que significa que más de la mitad de la población corresponde a adultos y jóvenes adultos.

Para 2015 se proyecta en Engativá una disminución de la población infantil y joven, que pasará a representar el 20,4% (de 0 a 15 años) y 32,3% (de 15 a 34), la población de adultos y personas en edad productiva (adultos entre 35 y 59 años) se pronostican pasen a un 34,2%, mientras que se rescata un notable crecimiento de las personas mayores de 60 años pasando al 13,1% siendo la población con mayor tasa de crecimiento. En el caso de Fontibón: 345.909, esta localidad representa el 4,6% de los habitantes del Distrito Capital, que equivalen a unos 345.909 pobladores. Se estima que la distribución por género es de 163.761 hombres y 182.148 mujeres. Se proyecta en esta localidad un aumento de la población del 10 de 2011 a 2015, tasa de crecimiento del doble de la ciudad (5,5%), lo que resulta en 380.453 habitantes en 2015 en la localidad.

En relación con la distribución de la población por grupos de edad, las personas entre 0 y 15 años representan el 28,8%; entre 15 y 34 años, el 34,5%; entre 35 y 59, el 33% y mayores de 60 el 9,7%, lo que significa que más de la mitad de la población corresponde a niños, adolescentes y jóvenes adultos. Para el 2015 se proyecta en Fontibón una disminución de la población infantil y joven, que pasará a representar el 21,4% (de 0 a 15 años) y 33,2% (de 15 a 34 años), mientras que la población de adultos y adultos mayores tiende a aumentar, especialmente, las personas en edad productiva (adultos entre 35 y 59 años), al pasar al 34,2% las personas de este grupo y al 11,2% los adultos mayores.

- **CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS.** Para la medición de la pobreza y la cuantificación de la situación socioeconómica de los habitantes de la localidad se usó la medición de pobreza del Índice de Condiciones de Vida (ICV), que valora el estándar de vida mediante la combinación de variables de capital humano, acceso potencial a bienes físicos y otras que describen la composición del hogar. Los factores que lo componen son: acceso y calidad de los servicios, educación y capital humano, tamaño y composición del hogar y calidad de la vivienda. Cada uno de estos componentes se desagrega en elementos más específicos, asignándoles un puntaje máximo. La suma de los puntajes máximos de todos los factores es igual a 100, límite que significa una excelente calidad de vida. El valor resultante para la localidad de Engativá fue de 93,03 siendo la séptima localidad con mayor calidad de vida, mientras que Fontibón el índice se sitúa en 93,79, por lo que la localidad se configura en la ciudad, como la cuarta localidad con mayor nivel de vida.

3.1.3. IDENTIFICACIÓN, SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS

3.1.3.1. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Para la ejecución del caso de estudio se tomaron los impactos correspondientes a las etapas de operación y mantenimiento de una planta por lodos activados. Se presenta en el cuadro 4 el resumen de los componentes, actividades y acciones, y en el cuadro 5, los posibles impactos ambientales que se generarían en esta etapa.

CUADRO 4. Resumen componentes, actividades y acciones en la etapa de operación y mantenimiento de una planta de tratamiento por lodos activados. Fuente: Elaboración propia.

Componentes	Actividades	Acciones
Sedimentador primario	Ajuste de la tasa de aire	Contratación de mano de obra principalmente de zonas aledañas al proyecto
Tanque de aireación	Limpieza y revisión de los difusores.	Transporte de equipos y repuestos
Sedimentador secundario	Chequeo de pH	Transporte de personal
Sistema de tratamiento y disposición de lodos	Mantenimiento y limpieza de los sedimentadores	Uso de químicos
	Chequeo y mantenimiento del sistema de circulación de lodos	Disposición de desechos
	Control de efluentes	Disposición de lodos y efluentes

CUADRO 5. Posibles impactos ambientales en la etapa de operación y mantenimiento de una planta de tratamiento por lodos activados. Fuente: Elaboración propia.

Componente Físico Químico	Componente Biológico Ecológico	Componente Social Cultural	Componente Económico Operacional
Contaminación del suelo por diversas sustancias (Combustibles, detergentes, aceites.)	Contaminación y ecotoxicidad en la biota	Oposición social del proyecto	Generación de empleo.
Alteración en la calidad de las aguas por efluentes	Contaminación y muerte de especies acuáticas	Alteración de la estética del paisaje	

3.1.3.2. SELECCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

En el cuadro 6 se presenta el cálculo del *Valor del Impacto Ambiental Potencial a Seleccionar* (VIAPS). En la que se seleccionan los impactos utilizando una serie de características que ellos poseen, estas son:

- **NATURALEZA.** Define el signo del impacto. Positivo para impacto beneficioso o negativo para perjudicial.
- **EFECTO.** Se refiere a la relación causa efecto. Es decir acción y cambio en el parámetro ambiental. Si es directa, entonces el efecto es primario, es secundario si el impacto se genera como consecuencia de un impacto primario.
- **MOMENTO.** Es definido como el tiempo que ocurre entre la aparición de la acción (t0) y la aparición del impacto (tj) sobre el parámetro ambiental considerado (Ec.1).

$$T(m)=t(j)-t(0)$$

Ec. 1

- **PERIODICIDAD.** Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera continua (las acciones que los producen están constantes en el tiempo) o discontinua (las acciones que lo producen actúan de manera regular pero no constantes en el tiempo).

CUADRO 6. Calculo de VIAPS. Fuente: Elaboración propia.

Impacto	Naturaleza	Efecto	Momento	Periodicidad	VIAPS	VIAPS Min	VIAPS Max.	VIAPS Nor.
Contaminación del suelo por diversas sustancias (Combustibles, detergentes, etc.)	(-)	4	1	1	-6	3	12	-0,3
Cambio en la calidad del agua producto de la alteración por introducción efluentes	(-)	4	4	4	-12	3	12	-1
Contaminación y ecotoxicidad en la biota	(-)	1	2	2	-5	3	12	-0,2
Contaminación y muerte de especies acuáticas	(-)	1	2	2	-5	3	12	-0,2
Aceptación social del proyecto	(+)	1	2	2	-5	3	12	0,2
Alteración de la estética del paisaje	(-)	1	3	4	-8	3	12	-0,6
Generación de empleo	(+)	4	2	4	10	3	12	0,8

Con la finalidad de continuar la ilustración de los pasos propuestos, el impacto a ser evaluado es el cambio en la calidad del agua producto de la alteración por introducción efluentes, ya que dentro del proceso de selección es el que obtuvo el mayor valor negativo.

3.1.3.3. DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO

Para este apartado, se presenta el impacto seleccionado en la etapa anterior, en una planilla bien estructurada mostrada en el cuadro 7.

El indicador seleccionado es el Índice de Calidad del Agua (ICA), puesto que este indicador proporciona un valor global de la calidad del agua, e incorpora los valores individuales de una serie de parámetros.

A continuación en el cuadro 8 se presentan los parámetros que serán usados en los cálculos, estos son tomados de los datos que proporciona la planta de tratamiento de aguas residuales. El Salitre, los cuales corresponden al agua cruda que ingresa a dicha planta, los valores con los que sale el agua al pasar por el tratamiento primario y a partir de allí se asumen valores para

CUADRO 7. Planilla para descripción de Impacto Ambiental. Fuente: Elaboración Propia.

Nombre del Impacto		Código del Impacto
Cambio en la calidad de las aguas producto de la alteración por introducción de efluentes.		FQ 01
<i>Tipo de Impacto:</i> Primario		<i>Indicador:</i> Índice de Calidad de Aguas (ICA).
Impactos asociados: Contaminación y ecotoxicidad en la biota Contaminación y muerte de especies acuáticas		
<i>Componente y media a afectar:</i> Físico-Químico.		
Actividades capaces de generar el Impacto		
Etapa	Actividad	
Operación y Mantenimiento	Uso de Químicos	
	Disposición de desechos.	
	Disposición de lodos y efluentes.	
Descripción del Impacto: La calidad de las aguas del río Salitre se ve afectada por los efluentes domésticos que son vertidos en el mismo, produciendo malos olores, posibles problemas a la biodiversidad, riesgos a la salud, y pérdida de la estética del río, esto por ende causa molestias a la comunidad aledaña generando inconformidad y alterando los niveles de la calidad de vida. El indicador seleccionado es el <i>Índice de Calidad de Agua (ICA)</i> , puesto que este indicador proporciona un valor global de la calidad del agua e incorpora los valores individuales de una serie de parámetros.		

dar un mejor contraste al ejemplo. Los valores porcentuales y sus ponderaciones se muestran en el cuadro 9.

CUADRO 8. Calidad del agua cruda. Fuente: Planta de tratamiento El Salitre.

653

Parámetros	Calidad del agua cruda	Calidad A	Calidad B	Calidad C.
DBO5	255 mg/l	89mg/l	50 mg/l	10 mg/l
SST	219 mg/l	151mg/l	70 mg/l	30 mg/l
Coliformes	7.000 n°/100 ml	3000 n°/100 ml	250 n°/100 ml	10 n°/100 ml
Aspecto	Muy malo	Aceptable	Agradable	Bueno

CUADRO 9. Valores porcentuales y pesos asignados para los parámetros que conforman el ICA. Fuente: Conesa y Vitora (2010).

Parámetro	Agua cruda		Calidad A.		Calidad B.		Calidad C	
	Ci	Pi	Ci	Pi	Ci	Pi	Ci	Pi
DBO5	0	3	0	3	0	3	20	3
SST	90	2	90	2	100	2	100	2
Coliformes	20	3	50	3	90	3	100	3
Aspecto	10	1	60	1	70	1	80	1

Calculando el ICA para los escenarios descritos anteriormente, se obtienen los resultados del cuadro 10. En la figura 6 se muestra la función de transformación, y en la figura 7, se presenta la curva de magnitud obtenida con el cálculo de los diferentes ICA.

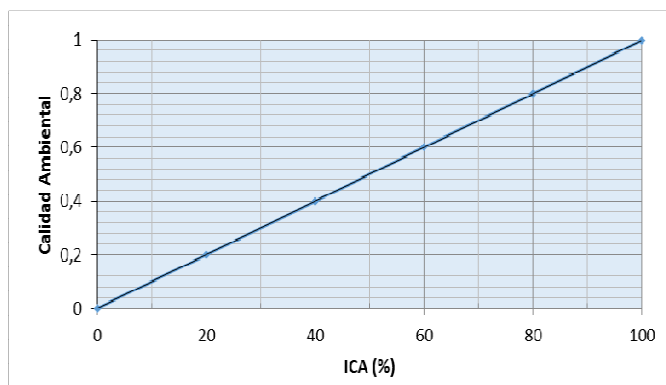


FIGURA 6. Curva de Magnitud. Fuente: Elaboración propia.

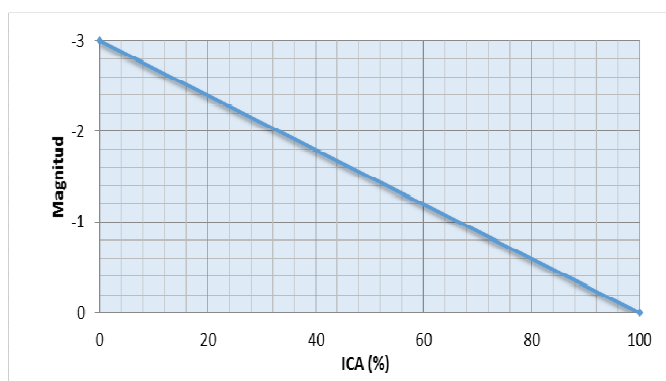


FIGURA 7. Función de transformación. Fuente: Conesa y Vitora (2010).

CUADRO 10. Calculo del ICA. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Valor de K	ICA
Agua Cruda	0,25	6,9
Calidad A	0,25	10,8
Calidad B	0,5	30
Calidad C	0,75	53,3

En el cuadro 11 se presenta el resultado de los impactos según evaluación usando la metodología RIAM, y en la figura 8 se muestra el puntaje ambiental de los tratamientos.

CUADRO 11. Evaluación ambiental de los distintos tratamientos, usando la metodología RIAM.

Tratamientos		ES	RB	A1	A2	B1	B2	B3
PC1	Tratamiento primario	-42	-D	2	-3	2	2	3
PC2	Tratamiento primario y secundario.	-28	-C	2	-2	2	2	3
PC3	Tratamiento primario, secundario y desinfección	-14	-B	2	-1	2	2	3

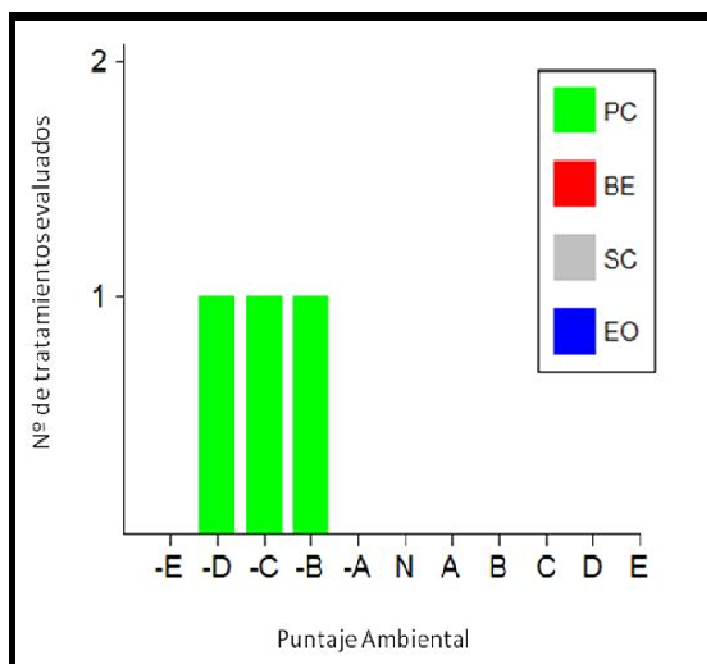


FIGURA 8. Histograma resumen del puntaje ambiental, por tratamientos evaluados. Fuente: Elaboración propia.

Analizando los resultados obtenidos en la evaluación ambiental y con el fin de seleccionar el impacto a ser evaluado, se procedió a la valoración de las propiedades de cada impacto ambiental identificado en el cuadro 5, usando la metodología VIAPS que se presenta en el cuadro 6 como criterio para la valoración de dichas propiedades, se selecciona el cambio en la calidad del agua producto de la alteración por introducción de efluentes como impacto a ser evaluado, ya que su **naturaleza** es negativa, es decir; genera un impacto perjudicial a las condiciones naturales, el **efecto** es primario lo que indica que a partir de él, pueden generarse otros impactos ambientales como lo son la contaminación y ecotoxicidad en la biota y la contaminación y muerte de especies acuáticas, por tanto; se pondero con el valor más alto, el **momento** de ocurrencia es inmediato y su periodicidad es continua, lo que llevó al valor -1 en VIAPS para dicho impacto, siendo éste el más representativo desde el punto de vista negativo en comparación con los demás.

Establecido ya el Impacto a ser evaluado, se seleccionó como indicador el *Índice de Calidad de Agua* (ICA), puesto que éste proporciona un valor global de la calidad del agua al incluir los parámetros de demanda biológica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, coliformes y aspecto, los cuales se reflejan con su respectivo cálculo en el cuadro 10. Cada valor de ICA obtenido por propuesta de proyecto se representó en la figura 7, la misma representa la curva de magnitud, donde los valores de ICA mayores se acercan a un estado de calidad ambiental más adecuado, siendo este valor el correspondiente a la calidad C. Para determinar la mejor opción de proyecto se procedió al cálculo del puntaje ambiental, realizado con la metodología RIAM mostrado en el cuadro 11 y reflejado en la figura 8, donde los valores obtenidos fueron para el tratamiento primario -42, para tratamiento primario y secundario -28; y para el tratamiento primario, secundario y desinfección correspondiente a la calidad C el valor de -14, siendo éste último el que genera un menor impacto ambiental, por tanto; según el paradigma de la conservación es la opción de proyecto más adecuada.

3.2. ANÁLISIS FINANCIERO-ECONÓMICO

Para la realización de estos análisis (financiero y económico), en el caso de estudio fue necesaria la utilización de datos referentes a costos tanto por inversión como de operación y mantenimiento, de plantas de tratamiento con las características que se plantean en el trabajo realizado por Bermúdez (1999). Por esta razón, se tomaron estos valores del proyecto titulado *Construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la ciudad de Cortazar, Guanajuato "Dren Merino"* (Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, 2006) y los datos

poblacionales de las localidades que se ven beneficiadas por el proyecto. Cada uno de los cálculos fue realizado con Microsoft Excel (Cuadro 12).

CUADRO 12. Aspectos a considerar en el análisis financiero. Fuente: Elaboración propia.

657

Propuesta	Tratamiento Primario (US \$)	Tratamiento Primario y Secundario (US \$)	Tratamiento Primario, Secundario y Desinfección (US \$)
Inversión	1274449 \$	2000000 \$	2005000 \$
Costos de operación y mantenimiento	12374 \$ mensuales	14500 \$ mensuales	14542 \$ mensuales
Vida útil	15 años	15 años	15 años
Tasa de descuento	12%	12%	12%

En función de estos datos se obtienen los resultados del cuadro 13, con los cálculos del Valor Presente de los Costos (VPC) y el Costo Anual Equivalente (CAE).

El criterio a ser usado para el análisis de sostenibilidad desde el punto de vista financiero, será el Costo Anual Equivalente (CAE), indicador financiero que permite comparar diferentes opciones de proyectos en base al costo que representan. En este caso, y dado que el análisis financiero se basa únicamente en los costos, la mejor alternativa de proyecto desde éste punto de vista es la que implica solo un tratamiento primario, puesto que posee un menor CAE, correspondiente a 292.641\$ (expresado en el cuadro 13), que en términos de rentabilidad financiera es el más adecuado.

Para el análisis económico se empleó la relación precio cuenta de Colombia, en el cuadro 14 se presentan los cálculos de VPC y CAE utilizando para la inversión una relación de 0,80, el cual corresponde a costos de construcción y para la operación y mantenimiento se empleará una de 0,60, que corresponde a mano de obra no calificada, esto bajo el supuesto que la operación y mantenimiento requieran mayoritariamente este tipo de mano de obra. De igual manera, se presentan los datos obtenidos de la valoración contingente tomado del trabajo de *Valoración Económica de los Beneficios Ambientales Directos de la Construcción de la Planta de Tratamiento de Agua del río Salitre*, realizada por Bermúdez (1999):

1. En promedio (con una probabilidad de ocurrencia de un 50%) la disponibilidad a pagar (DAP) de las personas por la mejora en calidad A, es de \$ 1,93.
2. La disponibilidad a pagar media (con una probabilidad de ocurrencia del 50%) de las personas por la mejora en calidad B, es de \$ 4,22.
3. La disponibilidad a pagar (con una probabilidad de ocurrencia de un 50%) de las personas por la mejora en calidad C, es de \$ 5,04.

En cuadro 15, se presentan los valores del beneficio ambiental de cada una de las propuestas, mientras que en el cuadro 16 se muestra la comparación del costo anual equivalente del análisis económico con el beneficio ambiental.

CUADRO 13. Cálculo el valor presente de los costos (VPC) y el costo anual equivalente (CAE), en el análisis financiero. Fuente: Elaboración propia.

Propuestas	Año	Tratamiento	Tratamiento Primario	Tratamiento Primario,
		Primario	y Secundario	Secundario y Desinfección
		(US \$)	(US \$)	(US \$)
Inversión (\$)	1	1.274.449	2.000.000	2.005.000
Operación y mantenimiento (\$)	2	148.488	174.000	174.500
	3	148.488	174.000	174.500
	4	148.488	174.000	174.500
	5	148.488	174.000	174.500
	6	148.488	174.000	174.500
	7	148.488	174.000	174.500
	8	148.488	174.000	174.500
	9	148.488	174.000	174.500
	10	148.488	174.000	174.500
	11	148.488	174.000	174.500
	12	148.488	174.000	174.500
	13	148.488	174.000	174.500
	14	148.488	174.000	174.500
	15	148.488	174.000	174.500
	16	148.488	174.000	174.500
VPC		\$ 2.040.875	\$ 2.843.831	\$ 2.851.336
CAE		\$ 292.641	\$ 407.777	\$ 408.853

CUADRO 14. Cálculo del valor presente de los costos (VPC) y el costo anual equivalente (CAE), en el análisis económico. Fuente: Elaboración propia.

Propuestas	Tratamiento Primario (US \$)			
	Año			
Inversión (\$)	1	1.019.559	1.600.000	1.604.000
Operación y mantenimiento (\$)	2	89.093	104.400	104.700
	3	89.093	104.400	104.700
	4	89.093	104.400	104.700
	5	89.093	104.400	104.700
	6	89.093	104.400	104.700
	7	89.093	104.400	104.700
	8	89.093	104.400	104.700
	9	89.093	104.400	104.700
	10	89.093	104.400	104.700
	11	89.093	104.400	104.700
	12	89.093	104.400	104.700
	13	89.093	104.400	104.700
	14	89.093	104.400	104.700
	15	89.093	104.400	104.700
	16	89.093	104.400	104.700
VPC		\$ 1.452.107	\$ 2.063.441	\$ 2.068.837
CAE		\$ 208.218	\$ 295.877	\$ 296.651

CUADRO 15. Calculo de Beneficio ambiental. Fuente: Elaboración propia.

Propuestas	DAP (\$)	Población Engativá (hab)	Población Fontibón (hab)	Número total de familias (Nº)	Beneficio Ambiental (US \$)
Calidad A	1,93	893.944	327.933	244.375	5.659.725
Calidad B	4,22	893.944	327.933	244.375	12.375.150
Calidad C	5,04	893.944	327.933	244.375	14.779.800

CUADRO 16. Comparación de Costo Anual Equivalente (CAE) con el beneficio ambiental. Fuente: Elaboración propia.

Propuesta	CAE (US \$)	Beneficio Ambiental (US \$)
Calidad A	208.218	5.659.725
Calidad B	295.877	12.375.150
Calidad C	296.651	14.779.800

Desde el punto de vista económico, en donde los costos y los beneficios deben ponerse sobre la balanza para tomar una decisión, se realiza un análisis costo-beneficio como indicador, ya que con la técnica de valoración empleada (valoración contingente), se logró obtener los datos necesarios para su cálculo, esto se refleja en los cuadros 14, 15 y 16; donde se observa que el CAE para la calidad C es 296.651\$, mientras que su beneficio es de 14.779.800 \$, obteniendo un margen de 2.404.650\$ por encima de la propuesta B que es la más cercana, por tanto; desde el paradigma de la rentabilidad, la mejor opción es la que ofrece el tratamiento primario secundario y desinfección, puesto que genera beneficios ambientales más elevados.

3.3. ANÁLISIS SOCIAL

En este apartado se presenta la aplicación de los pasos del análisis social:

Datos poblacionales:

- Engativá: su población es de aproximadamente 893.944 hab. (para el año 2005).
 - Fontibón: su población es de aproximadamente 327.933 hab. (para el año 2005).
1. A objeto de ejecutar los cálculos de distribución de equidad, para este análisis se tomaron tres tipos de ingresos familiares:
 - Un salario bajo correspondiente al salario mínimo en Colombia de 616.000 pesos (312,47 \$).

- Un salario medio correspondiente al salario promedio en Colombia de 4.500.000 pesos (2285,33 \$).
 - Un salario alto que corresponde a personas con altos niveles de educación de 10.000.000 pesos (5.078,51 \$).
2. En el cuadro 17 se presentan los valores calculados para la distribución de equidad, obteniéndose que los porcentajes aumentan en función de los ingresos familiares más altos, por tanto se trata de una equidad regresiva.

CUADRO 17. Distribución de la equidad. Fuente: Elaboración propia.

Calidad ambiental	Beneficio Anual neto equivalente (US \$)	Ingreso familiar		
		Bajos	Medios	Altos
A	\$ 5.451.507	0,005 %	0,04%	0,09%
B	\$ 12.079.273	0,002%	0,02%	0,04%
C	\$14.483.149	0,002%	0,02%	0,04%

Determinar los niveles económicos de las comunidades, permite diferenciar cuales sectores son los que presentan un menor ingreso, siendo este factor decisivo a la hora de proporcionar un beneficio a las comunidades, de manera que los sectores con índice de pobreza mayores deben ser prioridad del Estado. En este caso en particular, la implantación de una planta de tratamiento de aguas residuales, que se establecerá en un lugar predeterminado sin importar la clase social, arroja como resultado que todos los sectores aledaños se verán beneficiados por estos servicios, por lo que se podría hablar de una equidad de tipo equitativa. Sin embargo, para la ilustración del análisis social, se presentan los cálculos obtenidos en el cuadro 17, donde los porcentajes para la distribución de equidad, aumentan en función de los ingresos familiares más altos, esto es producto de que el pago del servicio representará un gasto menor para los sectores más privilegiados, por ende; se trata de una equidad regresiva, esto puede ser sopesado por el Estado, ya que al sectorizar por estratos económicos las poblaciones beneficiadas, se pueden establecer tarifas acordes a dicho estrato, generando así que todos obtengan el mismo beneficio y presentando desde el paradigma de la equidad una mejor opción, que para el caso de este proyecto cualquiera de las tres opciones de calidad tiene el mismo peso a nivel de análisis social, ya que como se dijo anteriormente, todos los sectores aledaños se verán beneficiados.

3.4. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

Para la realización de este análisis se contó tanto con el criterio de varios profesionales, vinculados a la enseñanza de las áreas ambientales y desarrollo de proyectos, como con personas ajenas al área de conocimiento, esto con la finalidad de determinar si los análisis pueden ser mostrados de forma tal que sean comprendidos por cualquier persona. Las opiniones de expertos y no expertos, fueron procesadas a través de la herramienta de decisión de experto multicriterio Expert Choice, Versión 11.

En las figuras 9 y 10 se presentan parte de los resultados arrojados por el programa. En estos se muestran los pesos obtenidos en la evaluación de sostenibilidad del proyecto, donde se realizó una comparación por pares, que, en primera instancia verifican cual análisis según el criterio de las personas entrevistadas, es el que debe poseer un peso mayor, para luego proporcionándoles la información obtenida en los análisis particulares realizados (ambiental, económico-financiero y social), determinar desde cada uno de los puntos de vista y paradigmas, cual opción de proyecto es la mejor. Una vez establecido esto, se pudo conjugar las opciones por cada criterio y ver su coincidencia con el fin de tomar una decisión.

Además puede observarse en la figura 9 el nivel de consistencia de la estructura realizada en el programa, que para ser adecuada debe estar por debajo de 10, lo cual se cumple para cada entrevistado donde el rango de inconsistencia va de 0.02 hasta 0.26. Esto entra dentro del rango de aceptación de consistencia.

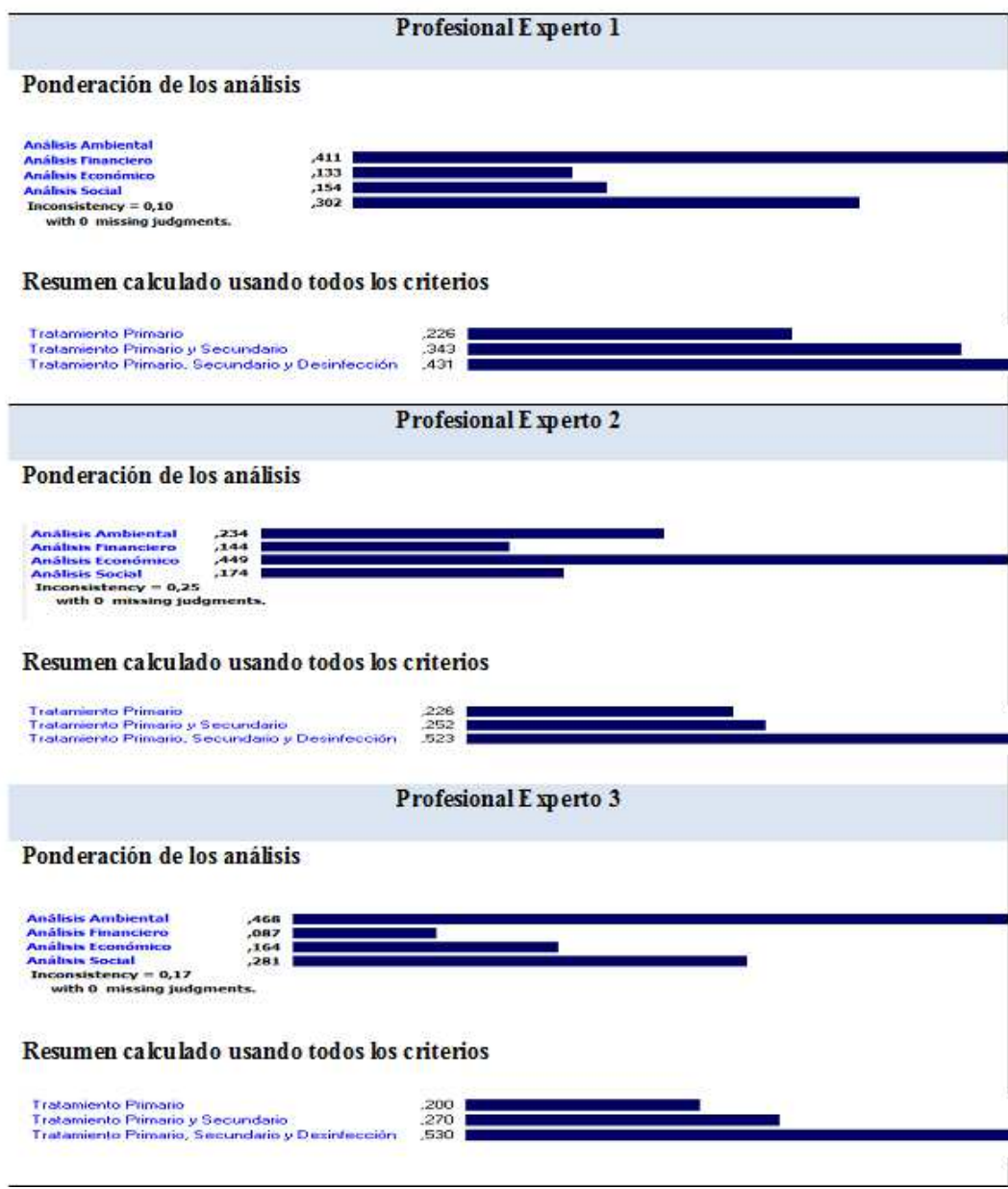


FIGURA 9. Ponderación de análisis considerados por varios de los profesionales expertos consultados, para la evaluación de la sostenibilidad del proyecto. Fuente: elaboración propia.

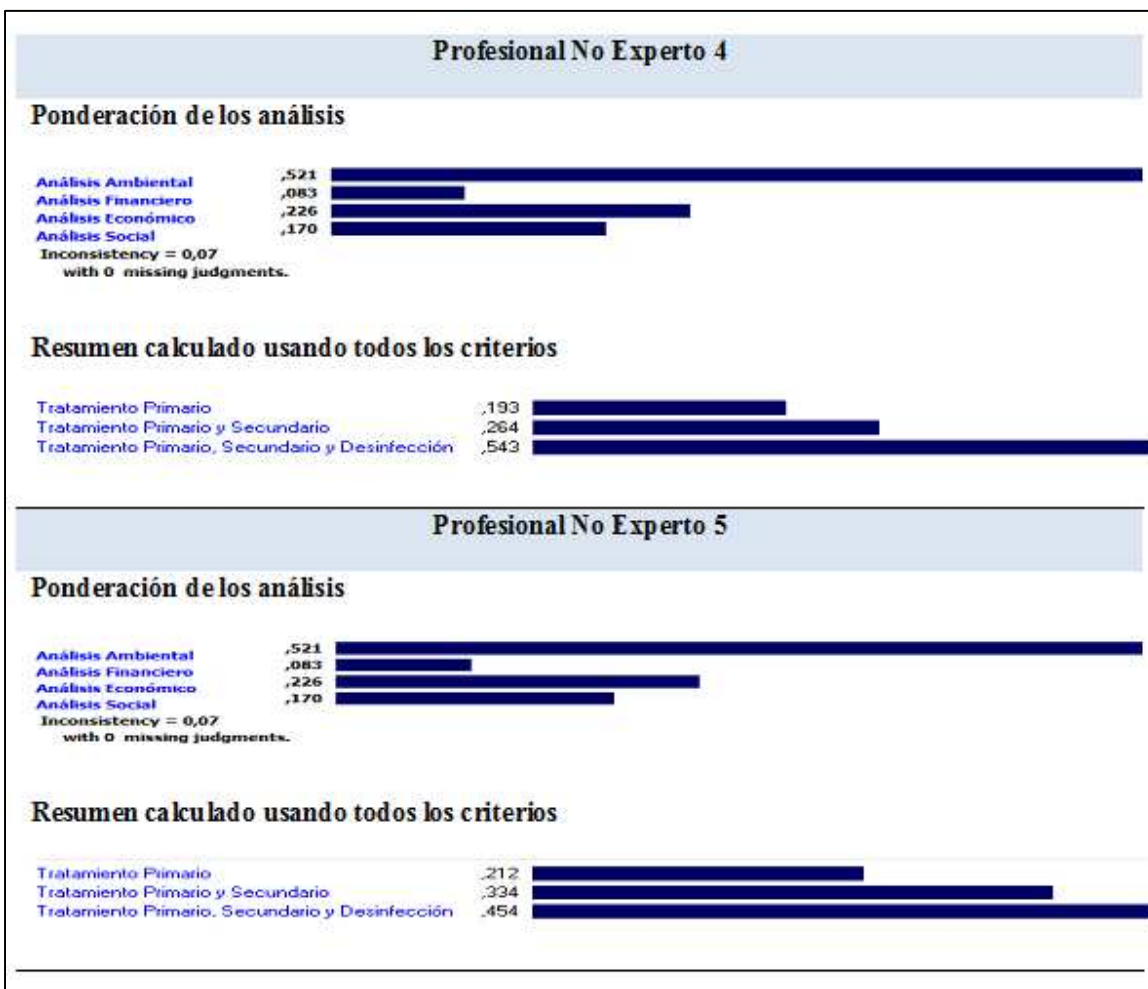


FIGURA 10. Ponderación de análisis considerados por varios de los profesionales no expertos consultados, para la evaluación de la sostenibilidad del proyecto. Fuente: elaboración propia.

En la figura 11 se expresa de manera porcentual el resumen de los pesos obtenidos al sumar el resultado generado por todos los profesionales expertos y no expertos entrevistados. Se observa que el análisis ambiental tiene un 36.9%, seguido del social con un 29.2%. La estructura de ponderación para la toma de decisiones quedó entonces así: análisis ambiental > análisis social > análisis económico > análisis financiero. En cuanto a la escogencia de la opción de proyecto, el correspondiente a tratamiento primario, secundario y desinfección es el que obtuvo el mayor porcentaje 47.8%, esta opción coincide con las elecciones que la metodología determinó en cada análisis, lo que establece que esta opción será la más sostenible.

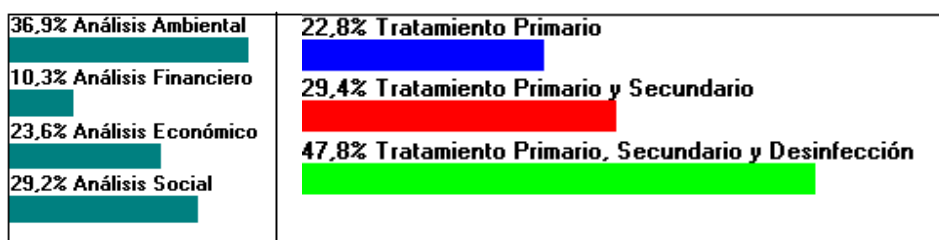


FIGURA 11. Pesos obtenidos para la evaluación de la sostenibilidad del proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de la investigación documental elaborada como marco de este trabajo, se logró generar una metodología para el análisis de sostenibilidad de los proyectos de calidad ambiental, como es el caso particular de los proyectos destinados al tratamiento de efluentes municipales. Se utilizaron para este proceso de análisis cuatro criterios: el ambiental, el financiero-económico y el social. El principal problema que se observó en esta investigación en lo que respecta a los proyectos de tratamiento de aguas residuales, es que son evaluados y analizados exclusivamente por criterios técnicos y criterios financieros/económicos, no tomándose en cuenta las demás variables que constituyen el Desarrollo Sustentable o Sostenible.

La gran mayoría de los estudios que introducen la variable de sostenibilidad en los proyectos de calidad ambiental, se enfocan en la evaluación de impactos ambientales, muchas veces sólo a nivel descriptivo. El análisis ambiental requiere contar con datos precisos y actuales, para así poder seleccionar los indicadores más adecuados a considerar, con el fin de realizar una evaluación cuantitativa del impacto ambiental. Dicha evaluación debe ser meticulosa, con el fin de que no falten o se pasen por alto aspectos importantes en las partes posteriores de la evaluación. Otro dato a destacar es que según los profesionales entrevistados para esta

investigación, el análisis ambiental resulta de mayor significancia al momento de evaluar la sostenibilidad de los proyectos, puesto que es el medio receptor (ríos, lagos o lagunas), el que sufre un cambio al recibir las descargas de los efluentes municipales, lo que afecta sus condiciones ecológicas, pudiendo así desencadenar problemas aguas abajo.

El análisis económico realizado, que incluyó el estudio tanto de los costos como de los beneficios ambientales que conlleva el proyecto, permitió determinar el bienestar que obtendrá la sociedad dada la realización del mismo. Esto ofrece una perspectiva más amplia a la hora de tomar una decisión de inversión. Para el cálculo de los beneficios ambientales que genera un proyecto de calidad ambiental, se recomienda el uso de la *valoración contingente*, ya que esta metodología permite acercarse más al contexto de la sociedad, y permite que la misma entienda lo que se quiere obtener con el proyecto, dejándole a ellos la libertad de decidir cuánto estarían dispuestos a pagar por dichos beneficios.

Por su parte, el análisis social arrojó como resultado una distinción en los sectores de la población que se verán beneficiados por la implantación del proyecto, en el caso de la investigación, se obtuvo una equidad regresiva, por lo que se recomienda que el proyectista seleccione las opciones que sean más equitativas asegurando así un mayor bienestar para toda la comunidad.

Ya realizados todos los análisis en el caso de estudio utilizado y ejemplificados cada uno de los pasos para llegar a deducir cuál alternativa es más sostenible, se procedió a determinar que desde el punto de vista ambiental y económico, la mejor opción es la que conlleva la implementación de la planta con tratamiento primario, secundario y desinfección. Lo anterior es en virtud de que es la que genera menor impacto ambiental negativo y un mayor beneficio.

Desde el punto de vista financiero la mejor alternativa es la planta que conlleva a un tratamiento primario, puesto que es la que requiere una menor inversión; y finalmente, desde el punto de vista social las tres opciones son iguales, puesto que su equidad es la misma. El análisis en conjunto, es decir, el que involucra a todos los criterios, arrojó que la opción más sostenible, es la implementación de la planta con tratamiento primario, secundario y desinfección, esto bajo el criterio de todas las personas que realizaron la entrevista.

Como recomendación final y dado que la sostenibilidad es un concepto que hoy en día debe ser aplicado a todos los tipos de proyectos, se recomienda generar metodologías para su evaluación en las diferentes áreas de aplicación en las que se proponen los mismos, además se sugiere la elaboración de un software libre para comparación y toma de decisiones que podría ser usado en distintos tipos de proyectos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDUNATE, E. 2009. *Evaluación social de proyectos*. Naciones Unidas. Santiago de Chile, Chile. 37 p.

ASIAN DEVELOPMENT BANK. 1999. Handbook for the Economic Analysis of Water Supply Projects. En línea. http://www.partnershipsforwater.net/psp/tc/TC_Tools/007T_EconAnalysis%20Projects.pdf. [Consultado: 23/01/2014].

BERMÚDEZ, M. 1999. Valoración Económica de los Beneficios Ambientales Directos de la Construcción de la Planta de Tratamiento de Agua del río Salitre. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. 221 p.

CAPITAL SUSTENTABLE. 2011. Guía para el desarrollo local sustentable. En línea. http://www.iclei.org.mx/web/uploads/assets//GDSL/guia_desarrollo_sustentable_local.pdf [Consultado: 03/06/2013].

CONESA, V. y V. VÍTORA. 2010. *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. 61p.

COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE GUANAJUATO. 2006. Proyecto Construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la ciudad de Cortazar, Guanajuato” Dren Merino”. Cortazar. México. 136 p.

GHIGLIAZZA, C. y J. LUPO. 2013. Expert choice guía de uso para el alumno. En línea. [http://www.websyllabus.org/files/6563-Expert Choice - Guia basica UBA.pdf](http://www.websyllabus.org/files/6563-ExpertChoice-GuiaBasicaUBA.pdf). [Consultado: 03/02/2014].

NAVARRO, J. 2010. Agenda río Bogotá. En línea <http://agendariobogota.blogspot.com/2010/03/costos-ptar-salitre.html>. [Consultado: 03/02/2014].

OSORIO, L. 2009a. Agenda Ambiental de la localidad 10 Engativá. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. 52 p.

OSORIO, L. 2009b. Agenda Ambiental de la localidad 09 Fontibón. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. 51 p.

PASTAKIA, C. y JENSEN, A. 1998. *The rapid impact assessment matrix (RIAM) for environmental impact assessment, environmental impact assessment review*. Hørsholm. Dinamarca. 22p.

PÉREZ, J. 2013. *Curso de Evaluación de Proyectos*. CIDIAT-ULA. Mérida, Venezuela. 142 p.

PÉREZ, J., y K. MÁRQUEZ. 2013. *Curso de Impactos Ambientales*. CIDIAT-ULA. Mérida, Venezuela. 159 p.

REPÚBLICA DE VENEZUELA. 1995. *Decreto No. 883. Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 5.021 Extraordinario del 18 de Diciembre de 1.995. 49 p.