



**DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO EN PLANTA POTABILIZADORA  
RÍO CAUCA DE COLOMBIA PARA EL AÑO 2016**

**SANDRA VIVIANA VILLEGAS FERNÁNDEZ**

**Código  
1.114.824.733**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE  
(ECAPMA)  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
PALMIRA, COLOMBIA  
2019**

**DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO EN PLANTA POTABILIZADORA  
RÍO CAUCA DE COLOMBIA PARA EL AÑO 2016**

**SANDRA VIVIANA VILLEGAS FERNÁNDEZ  
CÓDIGO: 1114824733**

Proyecto aplicado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Ambiental**

Asesor

**LILIANA BELTRAN**  
Línea de Investigación:  
**Evaluación de impactos ambientales y sostenibilidad ambiental**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE  
(ECAPMA)  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
PALMIRA, COLOMBIA  
2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo es de agradecimiento primero a Dios quien me permitió llegar hasta esta instancia con mucho esfuerzo y sabiduría, cumplir con uno de mis propósitos de vida, ser profesional.

Agradecer a mis padres y hermana quienes fueron mis pilares para continuar mi estudio y su apoyo incondicional.

A mi esposo John Darwin Alarcón, por ser mi mano derecha en este proceso, por su compañía y guía, ha contribuido y apoyado en este proceso de formación.

A la ingeniería y tutora Liliana Beltrán, por su acompañamiento y tutoría, quien siempre estuvo dispuesta a instruirme.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), por el apoyo en mi formación académica y por el acompañamiento constante.

## I. Resumen

El agua es un recurso esencial para la vida y para los seres humanos dado que este es considerado como el solvente universal. Para garantizar la potabilización de las aguas es necesario que el agua cruda (lluvia, agua superficiales o subterráneas, entre otras) debe pasar por medio de una secuencia de tratamientos, ya que dicho afluente puede contener niveles de contaminación producidos por medios antrópicos, industriales, calentamiento global entre otros. El análisis exergético es un parámetro el cual permite analizar los procesos básicos de la eficiencia exergética de cualquier sistema, es decir, que el sistema genere un procedimiento de trabajo al máximo, pero garantizando un consumo mínimo de trabajo por medio de la aplicación de la primera y segunda ley de la termodinámica. La finalidad de este proyecto es la identificación del análisis exergético de la planta potabilizadora río Cauca en el municipio de Santiago de Cali. La presente investigación se basó en la determinación del análisis exergético comparativo de los procesos de esta planta de potabilización, que distingue 3 pasos: el primero consiste en la revisión de documentos, visitas de campo y recopilación de datos, el segundo paso consistió en el análisis de datos e implementación de la estadística descriptiva con la debida interpretación de datos y el último paso consistió en el cálculo y realización de las gráficas.

Con la determinación del análisis exergético se determinó que la etapa agua tratada contiene una mayor exergía química, con un porcentaje 26,23%. Además, se encontró que agua filtrada es la que le sigue con mayor exergía con un porcentaje de 25,20%. Se concluye que a mayor es la etapa para la producción de agua potable se necesita mayor consumo de productos y energía.

**Palabras clave:**

Exergía, eficiencia, planta potabilizadora.

## II. Abstract

Water is an essential resource for life and for human beings since it is considered as the universal solvent. To ensure the purification of water, it is necessary that raw water (rain, surface water or groundwater, among others) must pass through a sequence of treatments, since this tributary can contain pollution levels produced by anthropic, industrial, global warming among others. The exergetic analysis is a parameter which allows to analyze the basic processes of the exergetic efficiency of any system, that is to say, that the system generates a working procedure to the maximum, but guaranteeing a minimum consumption of work by means of the application of the first and second law of thermodynamics. The purpose of this project is to identify the exergy analysis of the Cauca River water treatment plant in the municipality of Santiago de Cali. The present investigation was based on the determination of the comparative exergy analysis of the processes of this potabilization plant, which distinguishes 3 steps: the first consists of the review of documents, field visits and data collection, the second step consisted in the analysis of data and implementation of descriptive statistics with the proper interpretation of data and the last step consisted in the calculation and realization of the graphs.

With the determination of the exergy analysis, it was determined that the treated water stage contains a greater chemical exergy, with a percentage of 26.23%. In addition, it was found that filtered water is the one that follows with greater exergy with a percentage of 25.20%. It is concluded that the greater the stage for the production of drinking water, the greater the consumption of products and energy is needed.

**Keywords:**

Exergy, efficiency, water treatment plant.

## CONTENIDO

I.	Resumen.....	4
II.	Abstract.....	6
III.	Lista De Tablas .....	10
IV.	Graficas .....	11
V.	Lista De Símbolos Y Abreviaturas .....	12
1.	Introducción .....	16
2.	Descripción del problema .....	18
3.	Justificación .....	22
4.	Objetivos .....	24
4.1	Objetivo General .....	24
4.1	Objetivos Específicos.....	24
5.	Marco teórico .....	25
5.1	Termodinámica .....	25
5.2	Exergía .....	27
5.3	Componentes de la exergía .....	29
5.4	Exergía química .....	30
5.5	Exergía del agua en Colombia .....	33
5.6	Calidad de agua y Exergía .....	34
5.7	Ambiente de Referencia.....	36
5.8	Estado del arte.....	37
6.	Marco Normativo.....	39



7. Metodología .....	44
7.1 Primer Paso .....	44
7.1.1 Planta Río Cauca .....	45
7.2 Segundo Paso .....	50
7.3 Tercer Paso .....	51
8. Resultados .....	53
9. Conclusiones .....	64
10. Bibliografía .....	65
11. Anexos .....	73

### III. Lista De Tablas

<i>Tabla 1 Normatividad Ambiental</i> .....	39
<i>Tabla 2 Características de acuerdo a la normatividad</i> .....	41
<i>Tabla 3 Propiedades Planta de Potabilización de Agua Río Cauca, Versión 4.0, 2014-01-03.</i> .....	42
<i>Tabla 4 Caudal de agua de entrada, salida de la planta Río Cauca</i> .....	50
<i>Tabla 5 Parámetros físicos – químico anual de la planta Río Cauca</i> .....	50
<i>Tabla 6 Metodología planteada</i> .....	52
<i>Tabla 7 Exergía Química</i> .....	54
<i>Tabla 8 Análisis de KW</i> .....	55
<i>Tabla 9 Resolución 2115 de 2007 vs Agua cruda</i> .....	57
<i>Tabla 10 Resolución 2115 2007 vs Agua Clarificada</i> .....	59
<i>Tabla 11 Resolución 2115 de 2007 vs Agua filtrada</i> .....	61
<i>Tabla 12 Resolución 2115 de 2007 vs Agua tratada</i> .....	62
<i>Tabla 13 Cálculos Agua Cruda</i> .....	73
<i>Tabla 14 Cálculos Agua Clarificada</i> .....	74
<i>Tabla 15 Calculo Agua Filtrada</i> .....	75
<i>Tabla 16 Cálculos Agua Tratada</i> .....	76

## IV. Graficas

<i>Gráfica 2 Exergía Química.....</i>	<i>54</i>
<i>Gráfica 3 Exergía Química.....</i>	<i>55</i>
<i>Gráfica 4 Análisis de KW .....</i>	<i>56</i>
<i>Gráfica 5 Análisis de KW .....</i>	<i>56</i>
<i>Gráfica 6 Resolución 2115 de 2007 vs Agua cruda.....</i>	<i>58</i>
<i>Gráfica 7 Resolución 2115 2007 vs Agua Clarificada .....</i>	<i>60</i>
<i>Gráfica 8 Resolución 2115 de 2007 vs Agua filtrada .....</i>	<i>61</i>
<i>Gráfica 9 Resolución 2115 de 2007 vs Agua Tratada .....</i>	<i>63</i>

## V. Lista De Símbolos Y Abreviaturas

### Símbolos

Símbolo	Término	Unidad SI
V	Volumen	m <sup>3</sup>
W	Vatio “o” Watt	J/s

### Abreviaturas

Abreviatura	Término
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2 Eq</sub>	Dióxido de carbono equivalente
<i>Bch</i>	Exergía química
Q	Caudal (L/s)
<i>xi</i>	Fracción molar
Bi	Exergía química estándar del elemento (kJ/mol)
R	Constante de los gases (J/mol K)
To	Temperatura (K)

$a_i$	Coeficiente de actividad de la sustancia en el agua
$\gamma_i$	Fugacidad
Q	Energía térmica
M	Masa
W	Energía mecánica
$\beta$	Exergía
$B_k$	Exergía cinética
$B_p$	Exergía potencial
$\beta_{ph}$	Exergía física
$\beta_{ch}$	Exergía química
mg/L Cl <sub>2</sub>	Miligramos/ litro de cloro
mg/L Al <sub>2</sub>	Miligramos/ litro de aluminio
mg/L Fe	Miligramos/ litro de hierro
mg/L Cl <sup>-</sup>	Miligramos/ litro de cloruro
mg/L	
CaCO <sub>3</sub>	Miligramos/ litro de alcalinidad total
mg/L	
CaCO <sub>3</sub>	Miligramos/ litro de dureza

mg/L Ca	Miligramos/ litro de Calcio
mg/L Mg	Miligramos/ litro de Magnesio
mg/L SO <sub>4</sub>	Miligramos/ litro de sulfato
mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Miligramos/ litro de nitratos
mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Miligramos/ litro de nitritos
mg/L Mn	Miligramos/ litro de Maganeso
mg/L PO <sub>4</sub>	Miligramos/ litro de Fosfatos
mg/L F	Miligramos/ litro de Floruros
mg/L Na	Miligramos/ litro de Sodio
mg/L NH <sub>3</sub>	Miligramos/ litro de amonio
mg/L CN <sup>-</sup>	Miligramos/ litro de Cianuro
mg/L DQO	Miligramos/ litro de Demanda Quimica de Oxigeno
mg/L	Miligramos/ litro

$Bch$	Exergía química
$x_i$	Fracción molar
$B_i$	Exergía química (kJ/mol)
$R$	Constante de los gases (J/mol K)
$T_o$ (K)	Temperatura
$a_i$	Coficiente de actividad de la sustancia en el agua
$\gamma_i$	Fugacidad
$M_i$	Molaridad

## 1. Introducción

El agua es una sustancia principal para la vida, dado que es un derecho humano esencial; el planeta alberga el 97,5% de este elemento el cual corresponde a océanos, que es agua salada y el 2,5% es dulce, el cual corresponde a lagos, ríos, polos, sin embargo la disponibilidad de agua dulce, (Sánchez, 2012 ). Se está viendo afectada por la enorme presión de las actividades humanas, centros industriales y turísticos, zonas agrícolas, y el calentamiento global, que ha crecido con el pasar del tiempo conllevado a que este fenómeno afecte más la disponibilidad de este recurso.

Las plantas potabilizadoras se han convertido en una herramienta muy esencial en la vida, ya que por medio de estas plantas se suministra el agua potable a la población, sin embargo se indica que la población ha aumentado desmesuradamente, ocasionando mayor vertimientos a los afluentes de agua, mas generación de residuos sólidos, entre otros, lo que obliga a estas plantas potabilizadoras a realizar un mayor esfuerzo, implementando mayor el recurso humano, uso de productos químicos, consumo energético y utilizando mayor cantidad de agua cruda para la generación de agua potable.

Se menciona que el tratamiento de agua potable exige un consumo energético importante, es así que por medio de la ayuda de la propiedad termodinámica (exergía) y del Segundo Principio de la Termodinámica, permite establecer cuál es la proporción que mide o ajusta la energía que se logra para hacer un trabajo, es así que el estudio de la eficacia energética, permite que el sistema de tratamiento y de empleo sean implicados en el ciclo del agua, y sus posibilidades de mejora (Uche, 2013).



El análisis exergético de las tecnologías de tratamiento de aguas tiene la ventaja de comparar el recurso más infalible de su grado imposible para un análisis energético que es insensible a la calidad energética del proceso, aunque su valor es ya de por sí un valor orientativo de dicha calidad (Uche, 2013).

La presente investigación tiene como finalidad centrarse en el proceso de tratamiento de aguas para uso humano (potabilización). Se analizó la planta de tratamiento Río Cauca con el fin de analizar las tecnologías de tratamiento de aguas desde el punto de vista del análisis exergético, es decir, la eficiencia energética de la planta diseñada para cumplir los objetivos de eficacia en el proceso (estándares de calidad a la salida de dichas plantas).

De esta manera se permite identificar la calidad energética de input y output de la planta de tratamiento, además ayuda a visualizar más la información y delimitar dónde está la energía perdida para intentar evitarla. Como se ha mencionado anteriormente este análisis será aplicado en una planta potabilizadora de aguas superficiales, se determinará la eficiencia exergética, la cual se podrá observar si es alta dado el escaso consumo de recursos energéticos y de reactivos (con respecto al volumen de agua manejado) para conseguir un agua de calidad apta.

## 2. Descripción del problema

Actualmente el recurso agua es un elemento esencial para cualquier ser viviente, de igual manera para el sostenimiento del medio ambiente, es así que hoy en día el desarrollo económico, el aumento de la población, la industrialización, el cambio climático estos componentes van en ascenso involucrando a este componente esencial; las convergencias presentadas por el uso y manejo del recurso hídrico ha producido un uso ineficiente lo cual ha incrementado un inadecuado uso de este elemento vital para la vida, por lo tanto, existe una gran preocupación de la disponibilidad, pérdida o escasas y calidad de agua (OMS y UNICEF, 2017).

Es importante indicar que la escasez del agua perjudica o afecta al 40 % de la población mundial, a raíz de estas afectaciones y problemáticas asociadas al abastecimiento de agua potable, se crea el Programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD), donde se especifican los objetivos del Desarrollo Sostenible, es importante mencionar que estos objetivos son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad estos representan una meta, que exige un avance significativo, no sólo en la ampliación de la cobertura sino también en la calidad del servicio y la higiene. Dentro de estos objetivos se encuentra uno fundamentado en cuanto al agua limpia y el saneamiento, este es el objetivo número seis, tiene como función principal garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, en el tiempo estimado del año 2030.

De acuerdo a los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), en este caso particular Agua limpia y Saneamiento, este es un derecho que todos deben tener, actualmente en algunos territorios,

las poblaciones sufren por no tener el servicio, cabe indicar que el 80% de las aguas residuales son dispuestas dentro de los afluentes de agua, ocasionando una contaminación de estas aguas, es así que las personas que posiblemente utilicen de esta agua, pueden sufrir enfermedades asociadas a la falta de higiene.

Por consiguiente, las ocupaciones influidas por las actividades antrópicas han provocado que diferentes afluentes de agua se han contaminados a partir de productos petroleros, emisiones de materiales, plásticos, descargas domésticas, farmacéuticas y escorrentía agrícola, entre otras; por lo cual estas actividades humanas alteran la calidad del agua y la cantidad del agua.

Colombia es reconocida por su abundante oferta hídrica, es así que el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), como ente encargado otorga reportes estadísticos en cuanto a disponibilidad de las cuencas principales, en el área del Caribe el 71,4% la oferta hídrica fluye por la zona hidrográfica del Atrato-Darién, mientras que el menor aporte (4%) concierne a La Guajira. En el área Magdalena-Cauca la mayor medida es aportada por las cuencas del Medio Magdalena (31%) y el río Cauca (21%), las cuales aportan en conjunto el 52,2% de la oferta hídrica. En cuanto a las zonas hidrográficas, el río Cesar otorga con el 3% de la oferta y el río Sogamoso con el 6,4% de la oferta hídrica de toda la cuenca (IDEAM, 2014).

Es importante indicar que, en Colombia, mediante la Constitución Política de Colombia de 1991, refleja una de las actividades principales del Estado, la cual es brindar y satisfacer las necesidades básicas, entre las que está el acceso al servicio de agua potable, ya que es fundamental

para la vida humana. El abastecimiento adecuado de agua de calidad para el consumo humano es necesario para evitar casos de morbilidad por enfermedades.

Las entidades gubernamentales de Colombia, han definido metas para cumplir este objetivo, agua limpia y saneamiento, es así que establecen cuatro pilares esenciales para establecer un esquema de seguimiento, una de las estrategias es, mediar entre actores no gubernamentales y realizar alianzas para acceder a datos abiertos para el seguimiento al cumplimiento de los objetivos (DNP, 2018).

Es así que se proyecta el acceso a los datos en cuanto al abastecimiento de agua y si es adecuada, es decir que es un tema que impacta de manera directa el bienestar y salud de todos los colombianos. Los esfuerzos en este frente buscan llevar al país a la cobertura total en 2030, actualmente está en 92,9%. En los últimos siete años se ha logrado que 6,3 millones de colombianos tengan acceso a agua potable por primera vez y 7 millones a alcantarillado (DNP, 2018).

En la actualidad de los 568 municipios examinados en Colombia solo el (56%) abarca la cobertura urbana de acueducto en sus valoraciones, mientras que el 44% excedente no lo hace. Para las zonas rurales y de población dispersa, solo el 35% de los municipios comprende el dato de cobertura de acueducto (UNICEF, s.f).

Es importante mencionar que, dentro del municipio de Cali, se cuenta con cinco plantas de tratamiento de agua potable, donde se abastece de cuatro fuentes superficiales, para este estudio,

se identificará de la Planta Potabilizadora Río Cauca para el año 2016, con el fin de determinar el consumo que esta planta genera, al ofrecer agua potable al 20 % de los caleños.

El análisis del consumo energético en los tratamientos del agua potable indica que se pueden dar pautas de ahorro, sin embargo, no indica un valor el cual por si solo acepte analizar si una tecnología es mejor o no que otra destinada a ese mismo uso. Es por ello que se necesita de un indicador más peculiar como es la exergía, es así que indica que la calidad energética de un recurso físico como una masa de agua, aprueba y establece las posibilidades de progreso de la eficiencia energética de un determinado proceso (Lozano, 2011).

En esta interpretación, la exergía representa un importante rol para evaluar la sostenibilidad del proceso, dado que está relacionado con la Primera y Segunda Ley de la Termodinámica (Rivas, 2016).

La exergía se define como el potencial que tiene un proceso en hacer trabajo útil con respecto al estado de referencia (Szargut, 1988). Por lo tanto, la exergía es dilatadamente usada en la ingeniería de manera que identifica y cuantificar las pérdidas su aplicación es considerada como un especial juicio entre la relación de los sectores económicos, eficiencia y calidad del uso de los recursos (Mora, 2014).

### 3. Justificación

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, es una entidad autónoma de precepto nacional y régimen especial, personería jurídica, libertad académica, administrativa y financiera, patrimonio independiente, y capacidad para gobernarse, vinculado al Ministerio de Educación Nacional de acuerdo con la Ley 30 de 1992 (Acuerdo CSU N° 003 de 2012), esta entidad trata de fomentar el espíritu de la investigación y el aporte científico con la finalidad de apoyar la formación socio humanística articulado al proyecto Académico Pedagógico Solidario PAP'S (VIACI –UNAD 2011), además la universidad prioriza el carácter investigativo y socio humanístico, con el fin de involucrar la acción del diagnóstico y solución de problemas que se expone en los diferentes sectores sociales y fructivos de nuestro país, es ahí que la UNAD examina la importancia de la idónea relación hombre naturaleza como instrumento primordial para lograr verdaderas comunidades sustentables.

Por medio de esta iniciativa la UNAD se inclina en fomentar la investigación enfocada en proyectos que estimulen la sostenibilidad de los recursos naturales, por esta razón este proyecto está encaminado al Proyecto de Investigación de Escuela (PIE), el cual trata de compensar el abismo que hay en Colombia acerca de los estudios exegeticos.

Es importante indicar que el agua es primordial para formación, avance, oportunidad de los habitantes del mundo además establece la disponibilidad y el acceso al agua potable son los problemas más esenciales que enfrenta el mundo (WWAP, 2018).

El deterioro de los ecosistemas es una de las vitales causas del aumento de los retos en la gestión de los recursos hídricos los enfoques actuales permiten entrever un agravamiento de la situación, con críticas consecuencias en el ciclo del agua dado a tasas de evaporación mucho mayores, menor capacidad de retención del agua por parte del suelo y aumento de la escorrentía superficial, acompañada de una mayor erosión (WWAP, 2018).

Los ríos, lagos son afluentes de sistemas naturales los cuales son los encargados de trasportar agua, nutrientes minerales, esta valoración de agua o masa permite que se genere un ciclo natural el cual permite una reparación de este recurso a su estado inicial, es decir a un ambiente de referencia, esta demanda la introducción de una cierta cantidad de exergía lo que da lugar a un coste exergético. (Constitución Política de Colombia, 1991)

Es por ello que por medio de la termodinámica principalmente con la segunda ley, se determinara el potencial de trabajo utilizado en una cantidad de energía (agua) con que se puede lograr por medio de la interacción espontánea llevándolo a un equilibrio entre un sistema y su entorno. Es así que por medio del análisis exergético contribuye a la eficiencia y a la verdadera disposición de rendimiento logrando de identificar cuáles son las causas de las perdidas energéticas y considerar los posibles impactos en el entorno (Cengel, et, al 2012).

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Identificar aspectos de mejora para optimizar los sistemas de tratamiento de agua potable, a través del análisis exegético, en la planta de tratamiento de agua potable Río Cauca para el año 2016, en el municipio de Cali, Valle del Cauca.

### **4.1 Objetivos Específicos**

- Reconocer el análisis exegético de la planta potabilizadora Río Cauca para el año 2016.
- Estimar la eficiencia exegética de la planta potabilizadora Río Cauca para el año 2016.



## 5. Marco teórico

### 5.1 Termodinámica

Según (Cengel, 2012) define que “el término de la termodinámica proviene de las palabras griegas *Therme* (*calor*) y *dynamis* (*fuerza*), es definida como la forma de convertir la energía en fuerza, la cual se considera que puede causar cambio”.

Esto refiere a que lo más descriptivo de convertir la energía en fuerza, la cual se considera que puede causar cambios, cabe indicar que la termodinámica está integrada por dos leyes esenciales, la primera ley se detalla en la preservación de la energía, igualmente se analiza el calor y el trabajo, pero no establece condición sobre el recorrido de corriente energética, es así que no utiliza el asunto de la reversibilidad del proceso (Cengel, 2012).

Es así, que esta ley asocia la suma de la energía, por otro lado, indica que la energía es una cualidad de la termodinámica es homogéneo a la estimación entre las cantidades de calor (o energía térmica) y trabajo (Cengel, 2012).

En cuanto a la segunda ley de la termodinámica, esta indica que la energía tiene calidad como cantidad, por lo tanto, se refiere a los procesos verdaderos que suceden a donde disminuye la cantidad de la energía (Ramos et. al, 2015).

Según (Van Wylen, et.al, 2004) “La energía es una propiedad de estado de un sistema, el cual se puede definir como la condición de una ley de preservación de la energía, es así que instaura que la energía absoluta de un patrón es la misma que antes y después de la conversión, más el calor y el trabajo que entra o sale del sistema; en conclusión, es así que no indica ninguna limitación respecto al cambio”.

Por otro lado, esta permite convertir la energía de un tipo sin generar pérdidas, por lo tanto, acepta la magnitud física, llamada entropía, es así que asocia la propiedad de la energía y crea el deterioro de la energía durante un el proceder, de la generación de entropía y de las pérdidas debidas a las irreversibilidades y especifica que toda conversión de energía incrementa la entropía (Cengel, 2012).

Esta Ley determina el trayecto de los procesos que pueden acontecer y admitir el cálculo de las energías mínimas que la naturaleza ha tenido a disponer, para asignar los recursos con unas exigencias de desequilibrio químico y físico correlación a su entorno natural visualizado por un ambiente de concernir (Valero y Botero, 2003).

Cabe indicar que la Segunda Ley se basa en el principio de la entropía, es decir que, se explica como una ampliación de desorden molecular. Por lo tanto, cuando un proceso es más desordenado, los enfoques de las moléculas son menos impredecibles, conjetura un caos molecular y estimula el aumento en la entropía (Valero y Botero, 2003).

## 5.2 Exergía

Según, (Rant, 1953) y literalmente significa “capaz de un trabajo externo” Antes y después de esa fecha, se han implementado diferentes términos equivalentes a este concepto: capacidad técnica de trabajo, disponibilidad, energía disponible, trabajo disponible, trabajo potencial, energía útil, exergía o energía esencial, entropía potencial.

A continuación, se relacionarán terminología y definiciones según autores en cuanto a exergía:

De acuerdo a (Szargut, 1988), “la exergía es la cantidad de trabajo que se puede generar cuando la materia está en un estado de equilibrio termodinámico de acuerdo con los componentes comunes del entorno autóctono”.

A discrepancia de la energía que se conserva, la exergía puede ser destruida durante un proceso irreversible; sin embargo, la exergía absoluta solo puede ser positiva o cero, por definición (Dincer & Cengel, 2001).

Los métodos termodinámicos respaldan las leyes de conservación de materia y energía. Por lo tanto, la exergía no se conserva, sino que se destruye dado a las invariabilidades conllevadas a ellos, así mismo de perderse cuando una corriente material o energética es exhalada al entorno (Solbes, et.al. 2004).

Los primeros escritos sobre el concepto de energía disponible se atribuyen a J. W. Gibbs en 1873 (Ayres et al, 1996; Sciubba & Wall, 2007).

Según (Lozano, 2011) “es una propiedad termodinámica que indica la energía disponible, una medida la calidad de energía en los sistemas. Al contrario que ocurre durante las transformaciones en las cuales ambas son conservadas, la exergía es destruida en forma de irreversible”.

El concepto de Exergía fue concebido en el siglo XIX por Carnot, sin embargo, es aplicado a ciclos industriales en el siglo XX. La exergía, es el término por el cual se define como la cuantía extrema de trabajo que controla la producción de un método o un flujo de materia o energía cuando expone un equilibrio con un contexto de alusivo (Cruz, 2015).

Por último, según autor (Mora, 2015), define que la “exergía es una propiedad de los sistemas termodinámicos que permite incorporar al entorno mediante cálculos los cuales se pueden considerar como una unidad de la “calidad” de la energía disponible y nace del análisis de una técnica en base de las dos primeras leyes de la Termodinámica”.

En conclusión, se determina que la energía nunca se colapsa en el desarrollo de los procesos, solo cambia de método (1º Ley de la Termodinámica). En transformación, la exergía indica la irreversibilidad de un sistema en cuanto al aumento de entropía (2ª Ley de la Termodinámica). La exergía se destruye en todo proceso, en donde se influyan parámetros como la temperatura y que esta tenga un cambio, esta destrucción es proporcional al incremento de entropía del universo. En

los procesos isotermos reversibles, los términos exergía y energía son intercambiables y no hay generación de entropía (Moreno, 2011).

Es importante mencionar que la exergía es una propiedad de la combinación del sistema y su entorno dado que está a discrepancia de la energía, reconoce del estado de ambos. Por lo cual, no habría sentido de mencionar que la exergía de un sistema sin tener preciso un ambiente (Moreno, 2011).

La exergía de un río está definida por su flujo másico y por seis parámetros que caracterizan la condición del agua: temperatura, presión, altitud, velocidad, composición y concentración (Zaleta,St. al 1998).

### **5.3 Componentes de la exergía**

Se menciona que el componente universal y superior es vinculado al deterioro de la exergía, es así que están incorporados con la exergía cinética, potencial, física y química, es así que, son exclusivas constituyentes, dado que en un recurso natural pueden estar incorporados con otros factores tales como la exergía térmica, magnética, nuclear y eléctrica. La valoración de la exergía se visualiza en unidades de Watt, puesto que es un potencial exergético (Bastidas, 2014).

A continuación, se describen las componentes de mayor uso, de la expresión de la exergía:

$$\beta = \beta_k + \beta_p + \beta_{ph} + \beta_{ch}$$

Donde,

$\beta$  = Exergía

$Bk$  = Exergía cinética

$Bp$  = Exergía potencial

$\beta ph$  = Exergía física

$\beta ch$  = Exergía química

Los componentes son: potencial y químico deducen cuales son las afectaciones del río, de acuerdo al inicio de acopio de agua y la mezcla de carga contaminante, lo que comúnmente aplica a mayor producción de energía. El elemento de la exergía química (o potencial químico), examina un valor anónimo en la calidad del agua de una afluencia el cual será evaluado en este trabajo (Bastidas, 2014).

#### **5.4 Exergía química**

En cuanto al término de exergía química, se refiere a la energía que puede ser liberada en desigualdad con la composición química, entre el proceso y el entorno (Tzanakakis y Angelakis, 2011).

Por otro lado, una masa de agua, se puede reconocer precisando los elementos y sus compuestos mediante el agrupamiento que se presentan en el agua.

La exergía calculada para los cuerpos de agua está preparado por dos elementos como lo son el componente físico de la exergía y la componente química (Lozano, 2011).

La exergía específica está definida de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 b_{H_2O} = & CP_{H_2O}[T_a - T_0 - T_0 \ln\left(\frac{T_a}{T_0}\right) + \frac{V_{H_2O}(P_a - P_0)}{Ex.mecanica} \frac{[\sum y_i(\Delta G_{fi} + \sum n_e b_{ch,ne} + \sum n_e b_{ch,ne})_i]}{Ex Quimica} \\
 & + \frac{RT}{Ex.Concentracion} \sum x_i \ln \frac{\alpha^i}{\alpha^i} + \frac{1}{2} \frac{(V_a^2 - V_0^2)}{Ex.Cinetica} + \frac{g(z_a - z_0)}{Ex.Potencial} + \frac{1}{2} \frac{(V_a^2 - V_0^2)}{Ex.Cinetica} \\
 & + \frac{g(z_a - z_0)}{Ex.Potencial}
 \end{aligned}$$

### ***Ecuación 1***

De acuerdo con la ecuación 1, se indica que el primer término corresponde a la componente térmica de la exergía, el segundo representa la componente mecánica, la quinta el componente potencial, mientras que el último hace referencia a la componente cinética.

En cuanto a los términos tercero y cuarto evalúan la exergía física ( $b_{ph}$ ) y representan las componentes de concentración ( $b_{ch,c}$ ) y formación de la exergía química ( $b_{ch,f}$ ) (Lozano, 2011).

Es importante indicar que la exergía en un cuerpo de agua se identifica por el flujo de masa y seis parámetros que determina las diferentes etapas del agua, tales como temperatura, presión, composición, concentración, velocidad y altitud (Lozano, 2011).

El método de exergía agrupa cada referencia con su componente de exergía: térmico ( $b_t$ ), mecánico ( $b_{mch}$ ), químico ( $b_{ch}$ ), cinético ( $b_k$ ) y potencial ( $b_p$ ), tal como se mencionó anteriormente (Lozano, 2011).

Por otro lado, se indica que la composición del agua para el cálculo de su exergía son las componentes de concentración y la componente química de formación. (Lozano, 2011).

Cabe indicar que, para el cálculo de la exergía en el agua, se debe tener en cuenta la siguiente expresión.

$$b_{ch,c} = RT_0 \sum x_i \ln \left( \frac{a_i}{a_0} \right)$$

### **Ecuación 2**

#### **Exergía de formación**

Este término hace referencia a la cantidad de energía que dedica a la naturaleza en el origen de una mol de un componente, desde los elementos puros en la forma más estable (Chen y Ji, 2007).

Para su cálculo se requiere el valor intrínseco de la exergía de los elementos (exergía química estándar), el cual se puede encontrar en la literatura (Bastidas, 2014).

#### **Exergía química para una mezcla**

Un afluente, lleva una variedad de componentes transformándose en una mezcla, es así que la exergía química en este caso, relaciona el coeficiente de actividad de la sustancia en el agua ( $a_l$ ),



y se calcula con la ecuación 2, por lo cual se requiere determinar la tendencia de la sustancia a solicitar una fase y la carga iónica (Bastidas, 2014).

$$\mathbf{Bch} = Q * (\sum x_i B_i + R T_o \sum x_i \ln a_i) \quad (2)$$

$$\mathbf{a_i} = Y_i \times m_i \quad (3)$$

**Bch** = Exergía química

**Q** = Caudal (L/s)

**x<sub>i</sub>** = Fracción molar

**B<sub>i</sub>** = Exergía química estándar del elemento (kJ/mol)

**R** = Constante de los gases (J/mol K)

**T<sub>o</sub>** = Temperatura (K)

**a<sub>i</sub>** = Coeficiente de actividad de la sustancia en el agua

**Y<sub>i</sub>** = Fugacidad

**m<sub>i</sub>** = Molalidad

## 5.5 Exergía del agua en Colombia

Colombia cuenta con la fortuna de poseer varios afluentes de agua, los cuales riegan las superficies de varios departamentos y municipios, como se ha mencionado anteriormente por las diferentes actividades o causas naturales, ha conllevado a que estos afluentes se vean afectados.

Las plantas de tratamiento de agua potable, permiten realizar un cambio físico y químico del agua cruda para que esta pueda ser suministrada por la población o usuarios, sin embargo, debido

a la contaminación del agua, estas plantas deben trabajar y consumir mayor elementos o productos para satisfacer la necesidad del consumo del agua.

Es así, que a continuación se describirán algunos trabajos los cuales se han enfocado en el estudio de la exergía en el componente del agua:

Una investigación que es congruente en cuanto a la temática tratada en esta investigación y es la evaluación exergética de la calidad del agua de tres ríos en Colombia, autor (Bastidas, 2014), la autora refiere los procedimientos ejecutados en tres ríos Colombianos, Cauca, Chinchiná y Lengupá, por medio del trabajo se identificó que lugares presentan mayor afectación al sistema hídrico y cuál es el aporte exergético de cada parámetro analizado.

Es importante indicar que en Colombia no se presentan estudios referentes a la exergía en cuanto a las plantas potabilizadoras, no se conoce como tal el rendimiento energético de este tipo de plantas, es así y como se ha mencionado anteriormente la necesidad de elaborar este proyecto con el fin de conocer y establecer por medio de la exergía los consumos o la ineficiencia del proceso si se presenta.

## **5.6 Calidad de agua y Exergía**

De acuerdo con el Decreto 3930 de 2010 de Colombia, manifiesta que las condiciones para emplear el recurso (agua), ordenamiento y vertimientos, además determinar la rentabilidad del agua. Esta norma consiste en la formación del agua, en el contorno de la concentración y en

determinados casos aclara el alejamiento de ciertos componentes, o restringe las consecuencias de las mismas, sin embargo, no evalúa el recurso en sí mismo.

Cabe indicar que sea cual se ha el uso que el hombre hace del agua, es importante mencionar que la naturaleza infirió en la fuente hídrica en una fase de no-estabilización termodinámico, conservando esta la reducción al estado natural del río y en específicos casos, no siendo apta para el uso requerido.

Es característico definir cuándo un sistema está en ecuanimidad con el medio ambiente, no recompensa ninguna alteración de periodo espontáneo, y el sistema no corresponderá a efectuar ningún trabajo. Si un proceso está en equilibrio con el medio ambiente se debe a que la presión y la temperatura están en armonía, es así que es una condición de mínima energía, en el cual la cuantía de masa contiene una técnica en estado y flujo invariable, igualmente debido al equilibrio con ese entorno exterior, no ocurre ninguna oposición química (Wyllen y Sonntang, 1991).

Por otro lado, el cálculo exergético de la cualidad del agua es una técnica asequible, dado que su funcionamiento tiende hacer o inferirse confusa. Es así que, puede ser tomado como una insignia ambiental, el cual se varía de un resultado para evaluar el impacto sobre un flujo o producto de una ocupación que construye el hombre sobre su entorno. De igual manera permite la afinidad entre desemejantes fases de los recursos naturales, orientando la gestión ambiental.

La supremacía de esta herramienta insta en su objetividad, dado que, integra la capacidad del agua para un uso concreto, tal como lo hacen los índices de calidad del agua, solicita de futuras exploraciones, que se escapan al objetivo de este trabajo.

## 5.7 Ambiente de Referencia

Un ambiente de referencia, significa que accede a evaluar la exergía de los compuestos y los recursos que coexisten en la naturaleza. Este ambiente de alusión cumple con los siguientes parámetros: presión, temperatura y los principios para decretar la estructura química, y se deduce como un estado en el cual el nivel, presión, temperatura y composición tiene mínima exergía (Martínez y Uche, 2010).

Según (Kestin, 1980), “los ambientes de referencia están conformados por tres grandes reservorios: de energía, de masa y de volumen” (Bastidas, 2014).

Inicialmente se manifiesta que el reservorio de energía intercambia la energía de tipo térmico ( $Q$ ), el reservorio de volumen cambiará la energía de tipo mecánico ( $W$ ), el reservorio de masa intercambiará masa ( $m$ ). Es así que, las correlaciones con algún método podrán ser de interacción de calor, conociendo como la diferencia de energía térmica, o de calor, trabajo y masa (Bastidas, 2014).

Para determinar el estado si un medio ha sido cambiado, se debe investigar en el ambiente en mención, cual es la exergía de la sustancia de interés. Es así que, para esto, se verifica una condición inicial con una limitación contemporánea. En este medio la concentración fundamental de la materia de referencia más universal en la naturaleza, debe ser aceptada como nivel cero para la valoración aplicada de la energía y los recursos naturales (Botero, 2000).

Por lo tanto, se reconoce que una masa de agua tiene exergía si está más caliente ó más fría que el mar y por encima de su nivel (Martínez, 2011). Se ha definido mundialmente que el océano, es

considerado como el reservorio final a partir del cual habría que obtener el recurso tal y como lo hace el ciclo hidrológico (Botero, 2000).

Tratando de explicar mejor a lo referente del ambiente de referencia, es necesario entender que una vez el agua halla el estado de referencia (rio), habrá dejado todas sus peculiaridades, dado que entra en un proceso de mejoramiento de la calidad del agua para el consumo humano, además permite que las estaciones de bombeo puedan calcular el recurso en unas condiciones útiles (Valero et. al 2012).

## **5.8 Estado del arte**

Es importante indicar que el estudio exergético ha tenido un aumento en los distintos métodos ambientales, fundamentalmente en procedimientos mecánicos e industriales. Es así, que la transformación del aprendizaje en temas exergéticos, se utilizan términos lo cuales son necesarios, además de indagar las diferentes polifacéticas aplicaciones, que admite confrontar proporciones de energía en innumerables procesos, que demuestran la universalidad de la componente exergética (Bastidas, 2004).

Como se ha mencionado anteriormente, los principios del desarrollo de esta metodología se remontan a los aportes de Carnot en 1824, los cuales dieron inicio a la segunda Ley de la termodinámica propuesta por Clausius (1850, 1867). Es así, que el apoyo para esta Ley se obtuvo después de 30 años de arduo trabajo realizado por Clapeyron (1832,1834), Rankine (1851) y Thomson (1852).

Un nuevo acontecimiento determino diferentes aplicaciones, una de ellas se presentó en 1873, cuando Gibbs especifico la función termodinámica de "energía disponible" e incluyo explícitamente la idea de que el trabajo disponible (Sciubba y Wall, 2007).

A través de la historia se ha conocido la generación e integración del término de la exergía, es así que la evaluación exergética de ciclos y procesos, ha empleado el termino de eficiencia, el cual se ejecutó en la década del 60, conservando las investigaciones aplicadas a los estudios de procesos energéticos, durante la crisis del petróleo, al inicio de la década del 70.

La utilización del análisis exergético determina el coste y la eficiencia exergética en los procesos industrializados, los cuales son escasamente analizados en la literatura científica. Sin embargo, es una línea ascendente y se está empleado, actualmente por diferentes autores, concluyendo distintos índices exergéticos, convenientes para valorar su actividad. Es así que se puede destacar los trabajo de (Martínez y Uche), relata que los autores conllevaron a un análisis de los costes exergéticos de tecnologías de desalación y depuración de las aguas discriminado entre dos ratios, el del procedimiento y el de producto, por tanto, se considera el valor exergético de los subproductos generados en los procesos.

Por otro lado, estos mismos autores en compañía de (Carrasquer), orientando hacia el estudio de la aplicación del análisis exergético para estudiar el aumento de la eficacia en la exclusión de los residuos al valorizarlos.

Desde otra perspectiva, la proposición en semejanza, que desarrollaron (Mora- Bejarano y Oliveira , empleando los ratios exergéticos, eficiencia exergético ambiental ( $\eta_{env,exerg}$ ) y ratio de polucion ( $R_{pol,t}$ ) como indicadores en el análisis de plantas de agua.

## 6. Marco Normativo

En Colombia la legislación ambiental ha tenido un importante desarrollo en las últimas tres décadas, en lo peculiar, a partir de la Convención de Estocolmo de 1972, es así que los principios es dirigir desde el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente contenido en el Decreto Legislativo, hoy Decreto Ley, 2811 de 1974.

Es importante mencionar que en Colombia cuenta con normatividad ambiental vigente, para el tratamiento de agua potable, además de la conservación del ambiente, es así que a continuación se presenta cuadro con la normatividad ambiental para las plantas de potabilización:

*Tabla 1 Normatividad Ambiental*

Norma	Descripción
Ley 23 de 1973	Esta ley establece el reglamento técnico, por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones.
Ley 99 1993	Esta ley establece el reglamento técnico ,por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público

	<p>encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental –SINA y se dictan otras disposiciones</p>
Ley 373 de 1997	<p>Esta ley establece el reglamento técnico, Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua</p>
Decreto 3930 de 2010	<p>Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.</p>
Resolución 1096 de 2000	<p>Esta resolución establece el reglamento técnico Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS"</p>
Decreto 1575 de 2007	<p>Este decreto establece el reglamento técnico, sistema para la protección y control de la calidad del agua para el consumo humano.</p>
Resolución 2115 de 2007	<p>Esta resolución establece el reglamento técnico ,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</p>



Decreto 3930 de 2010	Este decreto establece el reglamento técnico ,Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones
----------------------	--

Es importante indicar que de acuerdo con la normatividad vigente las plantas potabilizadoras, deberá cumplir con unas características físicas químicas y microbiológicas, tales como:

***Tabla 2 Características de acuerdo a la normatividad***

<b>FISICAS</b>		<b>QUIMICAS</b>	<b>MICROBIOLOGICAS</b>
Color	15 UPC	El agua potable deberá tener un intervalo de P <sub>h</sub> 6,5 a 9,0	No deberá presentarse el grupo coliformes
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	El agua potable deberá tener mínimo 0,3 mg/l y un máximo	se permitirá un máximo de 100 colonias por cm <sup>3</sup>
Turbiedad, expresa en unidades nefetolometricas de turbiedad UTN, Max	2	de 2,0 mg/l de cloro residual libre en la red, expresado como cloro (cl <sub>2</sub> ) .l	Independiente del método de análisis realizado ninguna muestra deberán contender hongos o levaduras patógenas.
Solidos totales,	200		

expresado en mg/dm <sup>3</sup>			
------------------------------------	--	--	--

En cuanto a la planta potabilizadora Río Cauca contiene las siguientes características fisicoquímicas controladas.

**Tabla 3 Propiedades Planta de Potabilización de Agua Río Cauca, Versión 4.0, 2014-01-03.**

Actividad	Característica a controlar	Tipo de agua	Requisito
Captar Agua Cruda	Turbiedad	Cruda	< 3000 UNT u operar con 3.000 UNT durante un periodo de tiempo de 1 hora
	Oxígeno Disuelto Estación Milán		> 4 mg/L O <sub>2</sub>
	Oxígeno Disuelto Agua Cruda Puerto		> 3 mg/L O <sub>2</sub>
	Nivel del río		≥ 3 ,2 m
Tratar Agua Cruda	Turbiedad	Clarificada	< 10 UNT
		Filtrada	< 1 UNT
		Tratada	≤ 2 UNT
	Color	Tratada	≤ 15 UPC
	pH	Cruda	> 6 unidades
		Coagulada	+/- 0,2 unidades del pH obtenido de la jarra óptima y

			siempre menor al pH del agua cruda
		Tratada	6,5 a 9,0 unidades
	Cloro residual libre	Clarificada	0,1 a 1,0 mg/L Cl <sub>2</sub>
		Filtrada	0,1 a 0,8 mg/L Cl <sub>2</sub>
		Tratada	1,3 a 2,0 mg/L Cl <sub>2</sub>
	Alcalinidad Total	Coagulada	> 3 mg/L CaCO <sub>3</sub>
Suministrar agua potable a la red de distribución	Nivel Tanque de Contacto Lado B	Tratada	2,8 a 3,37 m

## 7. Metodología

Durante el desarrollo de este trabajo se empleó tres pasos básicos, los cuales ayudaron a que la investigación llevara una descripción lógica y amena.

### 7.1 Primer Paso.

Durante este paso se detalló exhaustivamente el término de la exergía y su convergencia en cuanto al componente del agua y su influencia en las plantas de tratamiento de potabilización, es así que se referencio todo el material bibliográfico en cuanto a este término, además se realizó la trámite necesario para obtener el reportaje del monitoreo de la planta Río Cauca y para obtener la base de datos necesaria para adelantar esta investigación.

Dentro de esta investigación, y cumpliendo con el primer paso de afianzar mediante bibliografía y documentación de la planta potabilizadora Río Cauca, se establece y se menciona la siguiente información sobre la planta potabilizadora.

Es importante indicar que las plantas potabilizadoras son atendidas por la participación del hombre, sin embargo ocasionalmente puede suceder algunas variaciones, es así que se busca realizar acciones de control, conservación y manejo, en cuanto a la actividad pertinente al recurso hídrico se refiere, es decir realizan monitoreos para evaluar la calidad del agua analizando parámetros físicos, químicos, biológicos y en algunos casos gases.

Los resultados de éstos monitoreos se tomaron en esta investigación. Se contó con datos obtenidos la planta potabilizadora Río Cauca de EMCALI, Sistema De Información De Agua Potable.

Los materiales que se requirieron fueron enfocados al estudio exergético de la planta Río Cauca, que a continuación se realizara la descripción y caracterización del sistema.

A continuación se presentara la descripción detallada de la Planta Potabilizadora Río Cauca, el cual se utilizó manual de operación de la planta del Sistema De Información De Agua Potable SIAP).

### **7.1.1 Planta Río Cauca**

La Planta de potabilización Río Cauca, se encuentra ubicada en la ciudad de Cali, fue construida por la empresa EMCALI, en el año de 1953, se iniciaron los trámites para la ampliación de la capacidad de agua potable, ya que por el crecimiento de la ciudad demanda mayor cantidad de agua potable.

Se planteaba una capacidad de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  la cual se desarrollaría por etapas, es así que se definió que para la primera etapa tendría una capacidad de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , la construcción de esta ampliación se inició en 1956 la cual entro en operación en 1958.

En 1966 la empresa EMCALI, decide en iniciar la construcción de la segunda etapa la cual inicia en operación en 1970. Esta segunda etapa se construyó con una capacidad de  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  , se dio un incremento en 4 bombas del sistema de bombeo de agua tratada a la ciudad .

A continuación se describen cada uno de los procesos de producción que intervienen en la transformación del insumo del agua cruda en el producto de agua potable:

**Captación y Bocatoma:** tiene una capacidad nominal del caudal de  $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , sin embargo el caudal máximo se puede lograr siempre y cuando el nivel del Río Cauca es mínimo y la cota es 952.30.

El tipo de captación es lateral, contiene una estructura de concreto y acero, tiene rejillas conformadas por platinas de acero separadas 9 cm entre sí, con una altura de 2,5 m la cual es unida a una lámina que termina en la plataforma de la estructura de la captación.

**Desarenador y equipo de remoción de basuras y arena:** este paso consiste en dos procesos fundamentales, el primero es tamizar el agua por medio de rejillas con el fin de remover las basuras que han estado al sistema, por otro lado, el otro proceso consiste en un sistema de extracción de lodos y arenas, mediante hidroeyectores y una bomba sumergible, la cual actúa como una aspiradora adaptada en un soporte del puente desarenador.

El desarenador es un canal de sección trapezoidal, es decir tiene una longitud efectiva de 28 m y un ancho de 8,0 m, el tiempo de retención depende del nivel del Río

- Tiempo de retención a nivel mínimo del río: 1,5 min.
- Tiempo de retención a nivel máximo del río: 11,7 min.

La función principal del canal desarenador es permitir la sedimentación de las partículas más pequeñas (aproximadamente de tamaño 0,2 mm) que no han sido removidas por las rejillas de operación manual. La velocidad máxima de sedimentación calculada es 30,6 cm. /seg.

**Estación de Bombeo e impulsión de agua cruda:** El proceso de bombeo e impulsión de agua cruda desde el pozo de succión hasta la Planta Río Cauca, así como las condiciones eléctricas necesarias para la operación inicial y normal de la Bocatoma

La cámara de bombeo cuenta con siete bombas, donde cuatro de ellas son grandes y tres son medianas, las bombas trabajan alternamente de acuerdo a los mantenimientos o las necesidades por demandas.

### **Cámara de Mezcla Rápida y Distribución de Caudales**

El agua cruda viene por impulsión por medio de dos tuberías, descargan a una cámara de mezcla en la cual se aplica un coagulante de alambre, la dosificación del coagulante se realiza por medio de 5 bombas dosificadoras, las cuales transportan el coagulante mediante dos tuberías de PVC, de diámetro 2,0 pulgadas, ubicadas en el borde de las tuberías de llegada de agua cruda a la cámara de mezcla.

El caudal máximo incluye el caudal para abastecer la red, los requerimientos internos de la planta, el caudal para lavado de filtros y el caudal para la purga de lodos en los decantadores.

### **Área De Clarificadores**

En la Planta Río Cauca los procesos de floculación y sedimentación se realizan en clarificadores de flujo vertical y son de dos tipos:

**Clarificadores de contacto Cyclazur:** Son clarificadores de gran tamaño que tienen un agitador electromecánico para la floculación y un sistema de arrastre de lodos para la evacuación de los mismos.

### **Clarificadores de contacto con floculación hidráulica circulator.**

En clarificadores de contacto con recirculación de lodos se generan tres zonas (de abajo hacia arriba) de las cuales depende la calidad del agua tratada: zona de recirculación de lodos donde las partículas antiguas se ponen en contacto con el agua mezclada que está entrando; zona de interfase en la que el floc está en constante choque por la velocidad de caída de algunas partículas y la velocidad de ascenso del flujo; y la zona de agua clarificada que es recogida por canales superficiales.

**Operación:** Su estructura consiste esencialmente en un tanque tronco cónico en el cual se inyecta el agua mezclada que asciende disminuyendo la velocidad a medida que el área aumenta.

El agua coagulada proveniente de la Cámara de Mezcla llega a cada Circulator por la parte inferior a un Hidroeyector, formado básicamente por una Tobera cónica, por donde llega el agua cruda, y un Difusor cuya finalidad es producir una succión que permita la aspiración de parte del lodo ya decantado generándose la recirculación de lodos que se mezclan profundamente con el agua cruda que llega, sirviendo de catalizador del proceso de floculación que tiene una duración de 20 minutos.

Las partículas floculadas quedan hidráulicamente suspendidas debido a la fuerza de arrastre del agua que asciende hasta las canaletas de salida.

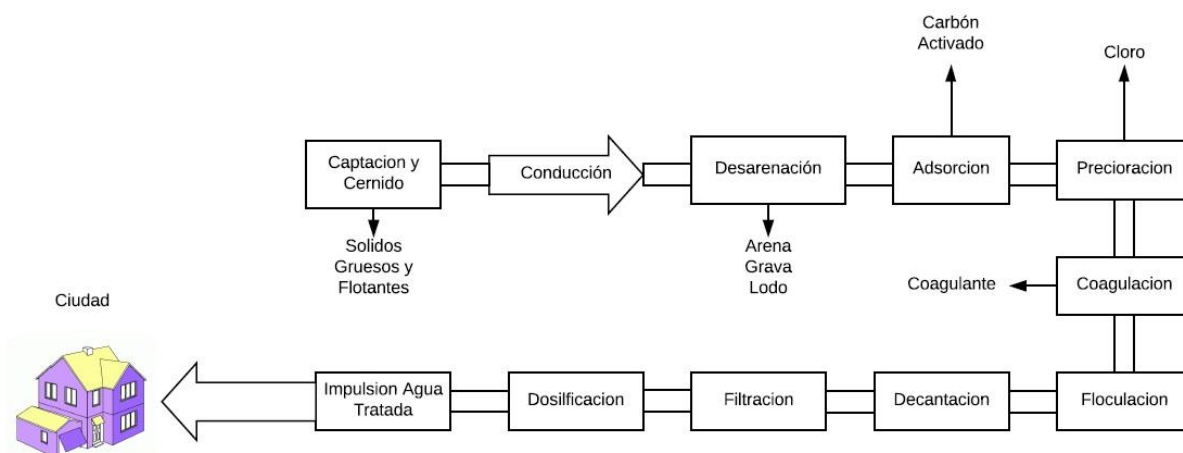
Es importante indicar que la recirculación de lodos no puede regularse desde la pasarela central de cada clarificador donde existe un pedestal con un volante cuyo accionamiento modifica la posición relativa entre la Tobera y el Difusor ya que el sistema fue suspendido.



Cabe indicar que cuando se hace la entrada de agua, de ahí es la relevancia de la posición relativa entre la tobera y el difusor, ya que demasiada turbulencia puede producir perturbaciones que afectan la nube de lodo formada. La modificación a la posición de la tobera y el difusor no se hace por la suspensión del sistema.

El agua mezclada sale del difusor y es obligada, mediante una pantalla cilíndrica de diámetro 11.2 m y altura de 2.6 m, a descender para pasar por debajo de un tabique a la zona de sedimentación donde se produce la separación de los flóculos que una vez decantados son llevados hacia el centro del clarificador por medio de un barrelodos.

A continuación se presenta diagrama de proceso de la producción del agua potable



**Gráfica 1 Proceso de Producción de Agua Potable**

## 7.2 Segundo Paso

Durante el segundo paso, se organizó la base de datos, obteniendo un archivo en Excel para la planta potabilizadora, con datos del año 2016. Se promediaron a un año los cálculos de exergía y las concentraciones de solutos se convirtieron a unidades moles L<sup>-1</sup>.

En la Tabla 4 se presentan el caudal de entrada y salida en la planta potabilizadora.

*Tabla 4 Caudal de agua de entrada, salida de la planta Río Cauca*

<b>Planta</b>	<b>Caudal de entrada (L s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Caudal de salida (L s<sup>-1</sup>)</b>
Río Cauca	2.352,8	2.255,08

En la Tabla 5 se muestran los datos físico-químicos promediado para el año seleccionado de la planta potabilizadora Río Cauca.

*Tabla 5 Parámetros físicos – químico anual de la planta Río Cauca*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Concentración promedio</b>			
		<b>Agua cruda</b>	<b>Agua clarificada</b>	<b>Agua filtrada</b>	<b>Agua tratada</b>
Cloro residual libre	mg/L Cl <sub>2</sub>	-	0,42	0,15	1,64
Aluminio residual	mg/L Al <sub>2</sub>	0,04	0,07	0,03	0,03
Hierro total	mg/L Fe	4,79	0,08	0,04	0,04
Cloruros	mg/L Cl <sup>-1</sup>	5,35	11,25	11,08	12,76
Alcalinidad total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	24,98	18,70	18,38	22,45
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	40,97	41,48	42,05	46,61
Calcio	mg/L Ca <sup>+2</sup>	8,31	8,13	9,02	9,79
Magnesio	mg/L Mg <sup>+2</sup>	4,92	5,15	4,75	5,39
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	20,34	17,77	17,73	17,68
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	2,52			2,66
Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>	0,07			0,01
Manganeso	mg/L Mn <sup>+7</sup>	0,87			0,03

Fosfatos	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0,19			0,03
Turbidez	NTU	65,80			0,63

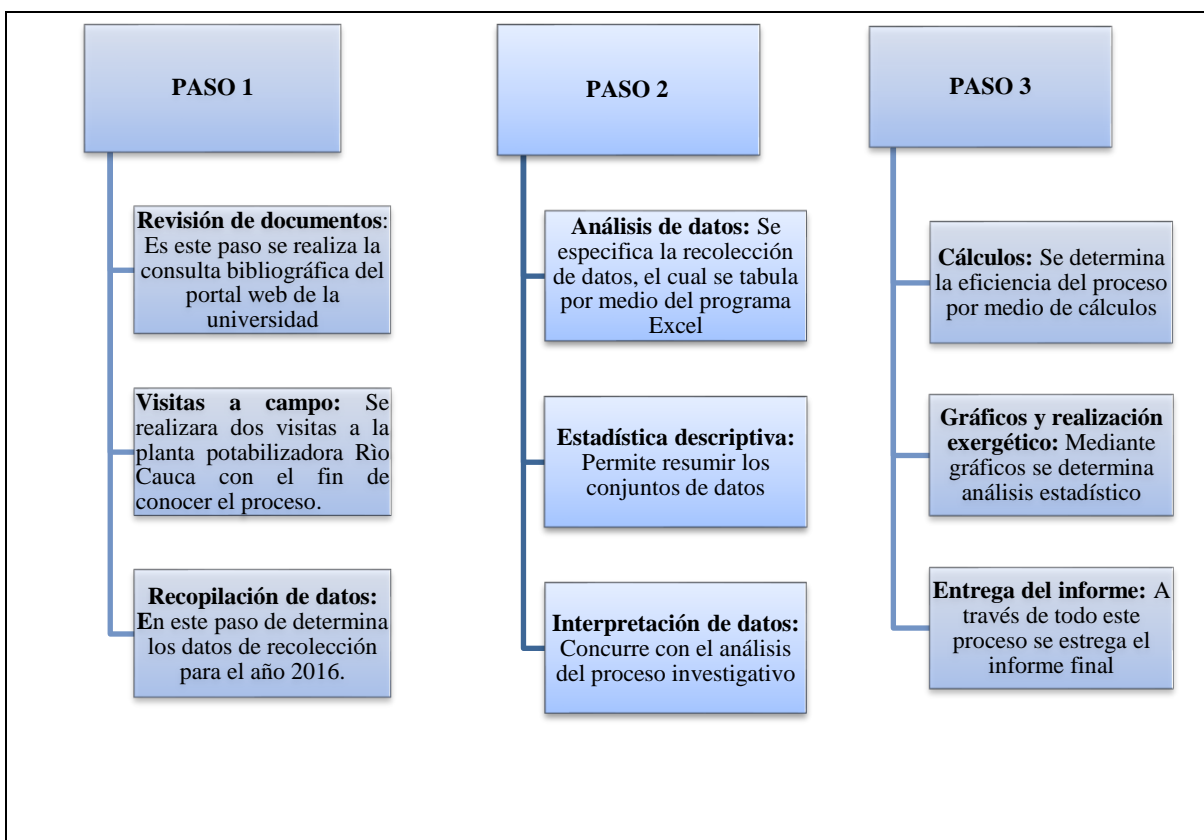
### 7.3 Tercer Paso

En el paso 3, se llevó a cabo los cálculos necesarios, implementando las ecuaciones que se aplicaron. Las expresiones citadas en el capítulo anterior se construyeron gráficas necesarias. Detallando más a fondo cada paso, se describe a continuación:

- Se evaluó el caudal promedio de Río que alimenta a la planta Río Cauca
- Se determinó cuales parámetros serán los que se trabajaran, siendo estos los que tienen un valor de exergía.
- Se estableció una serie con el dato promedio de cada parámetro de acuerdo al dato del caudal establecido.
- Durante la investigación, en la literatura se basó en los valores de exergía estándar, para los parámetros a trabajar, tomado de referencia al autor Szargut.
- Se obtuvieron los elementos para calcular la Exergía específica (kJ/mol) y la Exergía de la mezcla (kJ/L).

Por otro lado, se realizó la implementación de la herramienta office Excel, con el fin de conocer la conducta de los datos y confirmar la exergía como un factible indicador ambiental de la calidad del agua, es así que se realizó el análisis de los datos definiendo los promedios de los parámetros.

A continuación se relaciona cuadro resumen de los pasos realizados en la metodología

*Tabla 6 Metodología planteada*

## 8. Resultados

Se especifica que para calcular la exergía química, se realizó mediante la aplicación del programa Excel, y se requirió los siguientes datos:

- Concentración del elemento mg/L
- Peso molecular del elemento en gr/mol
- Número de moles de la molécula que representa el elemento en consideración
- Valencia del elemento en consideración
- Constantes: Gases  $R = 8.31434 \text{ J/mol K}$
- Constante ADH =  $0,51 \text{ kg}^{0,5} \times \text{mol}^{-0,5}$
- Constante BDH=  $3,287 \times 10^9 \text{ kg}^{0,5} \times \text{m}^{-1} \times \text{mol}^{-0,5}$
- Exergía estándar de los elementos en el ambiente de referencia seleccionado

$\text{kJ/mol}$

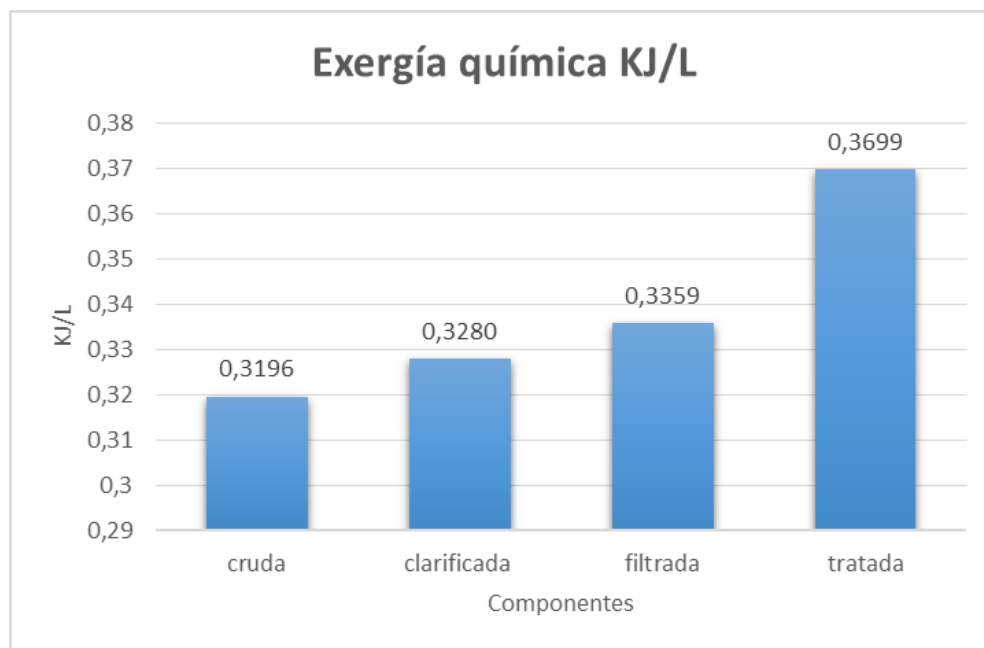
Es así que las expresiones matemáticas que definen la exergía química, constantes y los diferentes datos de la concentración de los parámetros, este cálculo se realizó para cada uno de los elemento en unidades  $\text{kJ/mol}$ , luego se determinó si se afectó por el caudal del Río y se determinó la exergía en términos de  $K_w$ , es decir de potencial.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinaron una serie de graficas con el fin de analizar la exergía de la planta potabilizadora Rio Cauca para el año 2016.

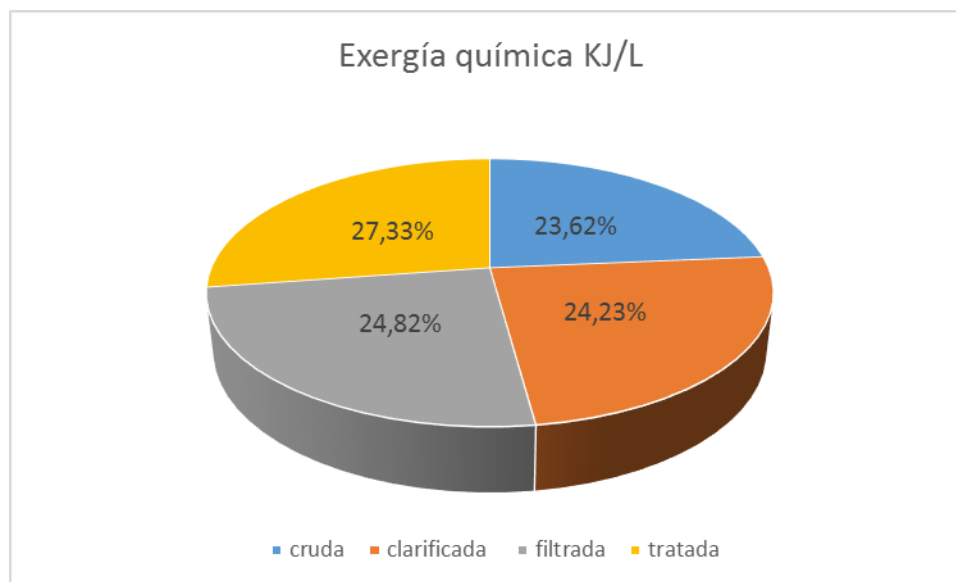
En primer medida se identificó la variación exergética de los procesos del agua cruda, clarificada, filtrada y tratada, a continuación se presenta la exergía química en KJ/L de los componentes estudiados.

**Tabla 7 Exergía Química**

Componente	Exergía química KJ/L
Cruda	0,319627234
clarificada	0,327988594
Filtrada	0,335922315
Tratada	0,369905112



**Gráfica 2 Exergía Química**



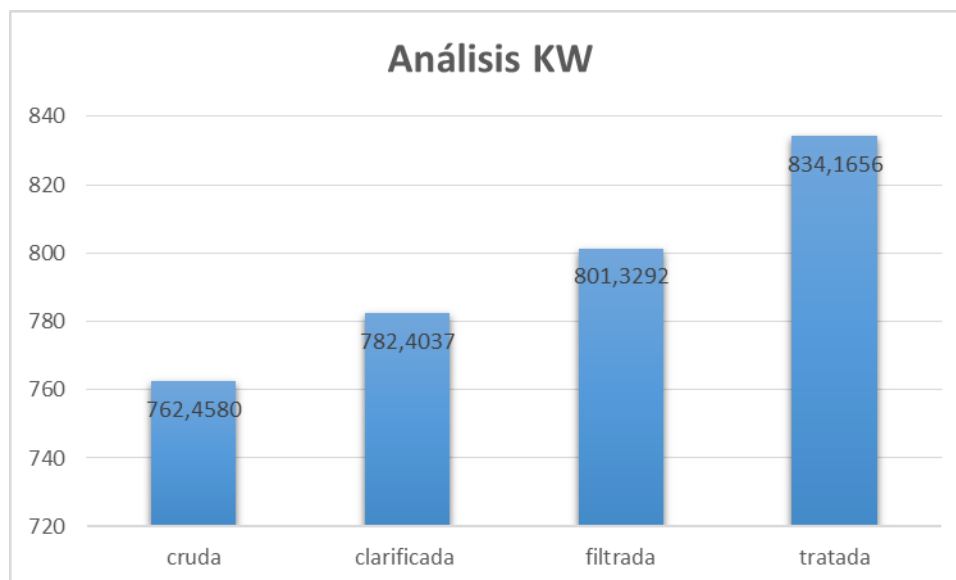
**Gráfica 3 Exergía Química**

De acuerdo a la gráfica se visualiza que el mayor consumo fue en la etapa de agua tratada, dado que se requiere mayor energía, esfuerzo, productos para poder otorgar un agua para el consumo humano, además permite identificar qué sistema se encuentra con mayor deficiencia y lograr por medio de acciones de mejora, unos procesos con mayor eficacia de la planta potabilizadora.

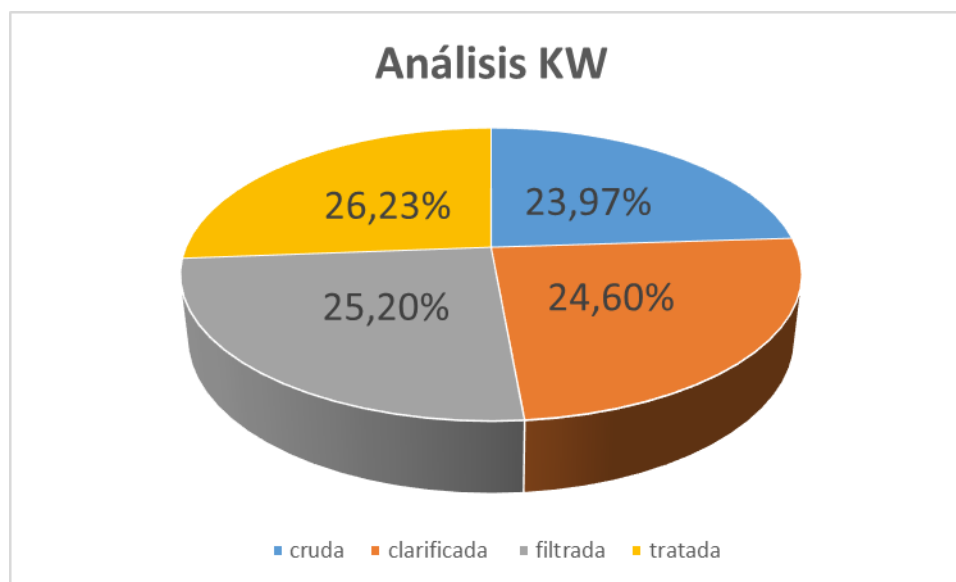
En cuanto a los Vatios utilizados en cada componente se establece lo siguiente:

**Tabla 8 Análisis de KW**

Componente	KW
Cruda	762,457983
clarificada	782,403671
Filtrada	801,329246
Tratada	834,165619



**Gráfica 4 Análisis de KW**



**Gráfica 5 Análisis de KW**

Mediante la gráfica 4 y 5 podemos observar, que en la etapa de agua tratada hay un incremento en el consumo de KW, y al mismo tiempo una mayor cantidad de energía para que los equipos puedan mejorar las condiciones del agua, por otro lado, esta es la etapa final donde

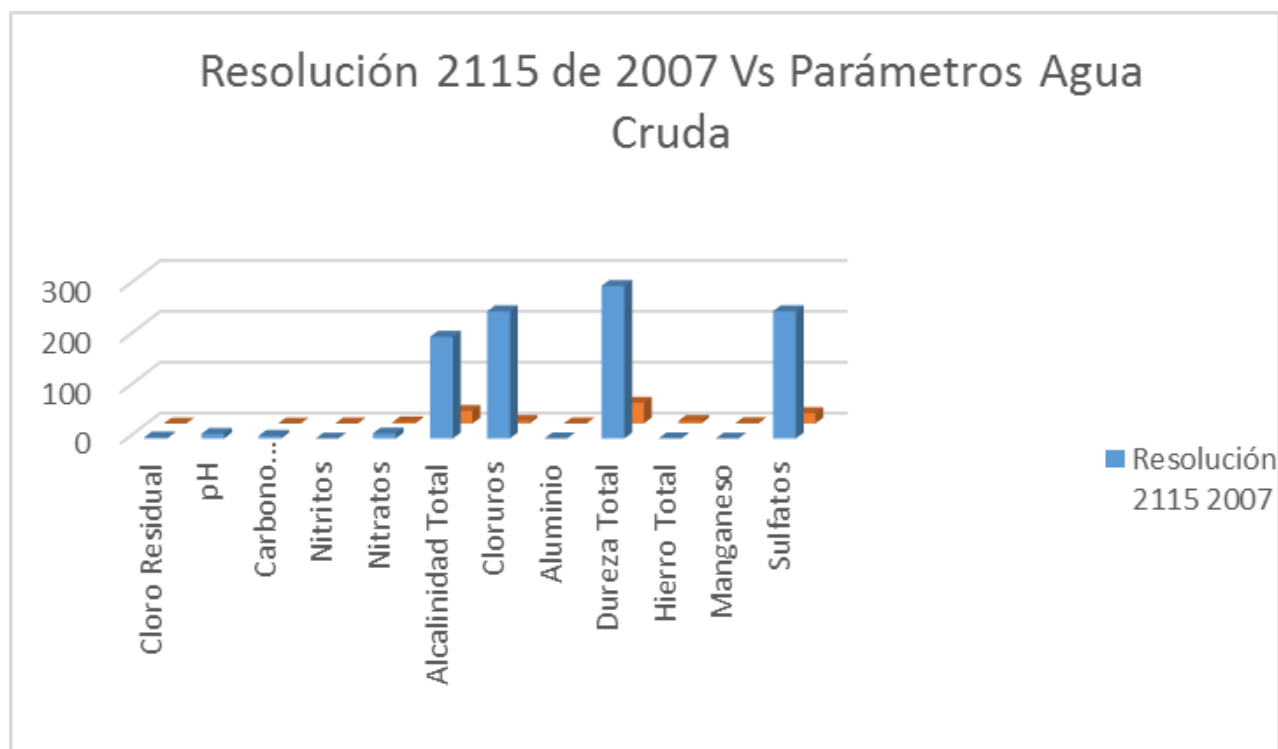


se les otorga a los caleños un agua que cumple con la normatividad vigente y que es apta para su consumo.

En segundo lugar se comparó las características químicas de la planta en cuanto a la Resolución 2115 de 2007.

**Tabla 9 Resolución 2115 de 2007 vs Agua cruda**

Resolución 2115 de 2007		Parámetros Agua Cruda	Valor (mg/L)
Características Químicas	Valor máximo admisible (mg/L)		
Cloro Residual	2	Cloro Residual	0
pH	9	pH	
Carbono Organico Total	5	Carbono Organico Total	0
Nitritos	0,1	Nitritos	0,07
Nitratos	10	Nitratos	2,52
Alcalinidad Total	200	Alcalinidad Total	24,98
Cloruros	250	Cloruros	4,9
Aluminio	0,2	Aluminio	0,04
Dureza Total	300	Dureza Total	40,97
Hierro Total	0,3	Hierro Total	4,79
Manganeso	0,1	Manganeso	0,87
Sulfatos	250	Sulfatos	20,34



**Gráfica 6 Resolución 2115 de 2007 vs Agua cruda**

De acuerdo a la gráfica 6 se identifica que la planta potabilizadora Rio Cauca en el componente de agua cruda, cumple con los valores permisibles de la resolución 2115 de 2007.

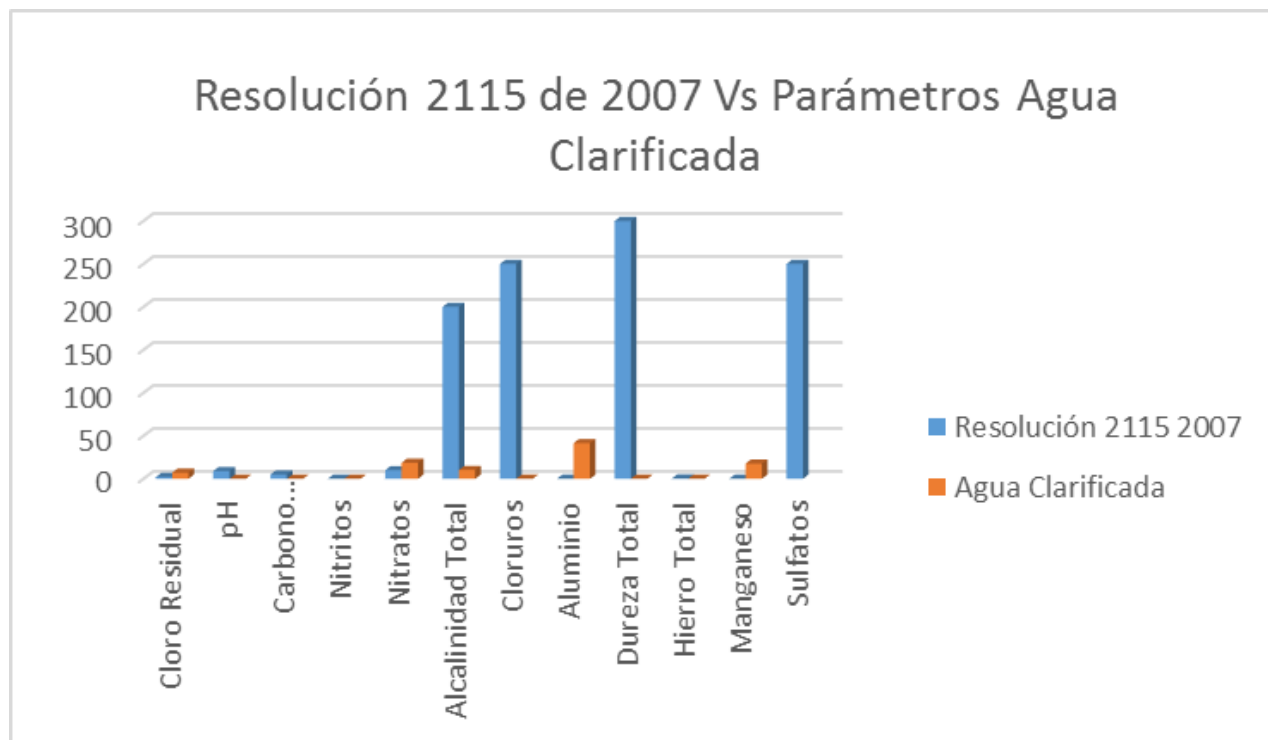
Se percibe que la alcalinidad total está a 24,98 mg/L, y el valor permisible de la norma es 200 mg/L, se indica que la alcalinidad es un parámetro el cual identifica que contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos de aguas superficiales además esta se toma como un indicador de especies iónicas.

La dureza en el agua cruda está compuesta de minerales la cual se determina si el agua es dura o blanda, sin embargo dentro de los datos del componente de agua cruda, se identifica que tiene 40,97 mg/L de acuerdo a la Resolución 2115 de 2007 la cantidad permisible es de 300 mg/L, por lo tanto cumple con el valor permisible de la norma.

Los sulfatos en el componente de agua cruda están en cantidad de 20,34 mg/L, y de acuerdo a la norma su valor permisible es de 250 mg/L, por lo tanto, no se excede a lo que indica la norma, es importante mencionar que si los sulfatos son altos contribuye a que pueden actuar como laxantes, lo que refiere una cierta peligrosidad en el ambiente.

**Tabla 10 Resolución 2115 2007 vs Agua Clarificada**

Resolución 2115 de 2007		Parámetros Agua Clarificada	Valor (mg/L)
Características Químicas	Valor máximo admisible (mg/L)		
Cloro Residual	2	Cloro Residual	0,42
pH	9	pH	7,17
Carbono Organico Total	5	Carbono Organico Total	0
Nitritos	0,1	Nitritos	0
Nitratos	10	Nitratos	0
Alcalinidad Total	200	Alcalinidad Total	18,7
Cloruros	250	Cloruros	10,24
Aluminio	0,2	Aluminio	0,07
Dureza Total	300	Dureza Total	41,48
Hierro Total	0,3	Hierro Total	0,08
Manganeso	0,1	Manganeso	0
Sulfatos	250	Sulfatos	17,7

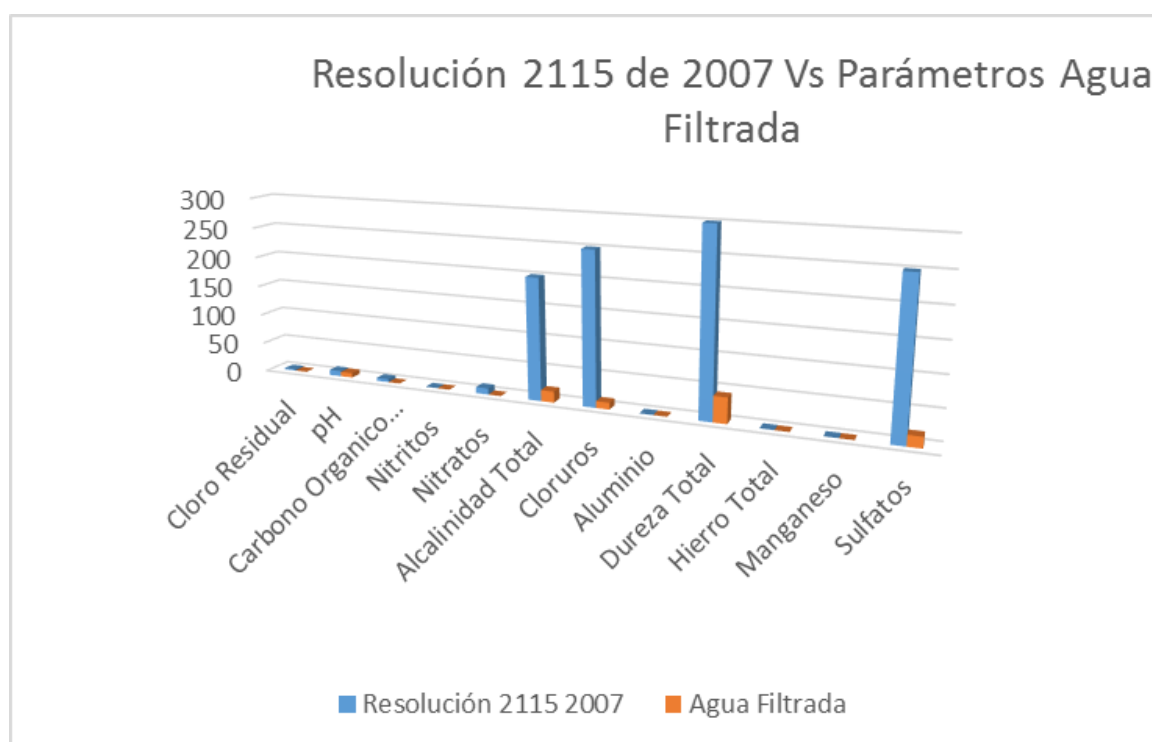


**Gráfica 7 Resolución 2115 2007 vs Agua Clarificada**

De acuerdo a lo que indica la gráfica en el componente de agua clarificada, cumple con los valores permisibles de la Resolución 2115 de 2007, sin embargo se observa que en el parámetro de aluminio tiene una cantidad de 0,07 mg/L, esta cantidad de aluminio se puede referenciar al coagulante que se aplica en esta etapa, sin embargo la norma indica que el valor permisible es de 0,02 mg/L.

**Tabla 11 Resolución 2115 de 2007 vs Agua filtrada**

Resolución 2115 de 2007		Parámetros Agua Filtrada	Valor (mg/L)
Características Químicas	Valor maximo admisible (mg/L)		
Cloro Residual	2	Cloro Residual	0,15
pH	9	pH	7,8
Carbono Organico Total	5	Carbono Organico Total	0
Nitritos	0,1	Nitritos	0
Nitratos	10	Nitratos	0
Alcalinidad Total	200	Alcalinidad Total	18,38
Cloruros	250	Cloruros	11,11
Aluminio	0,2	Aluminio	0,03
Dureza Total	300	Dureza Total	42,05
Hierro Total	0,3	Hierro Total	0,04
Manganeso	0,1	Manganeso	0
Sulfatos	250	Sulfatos	17,73

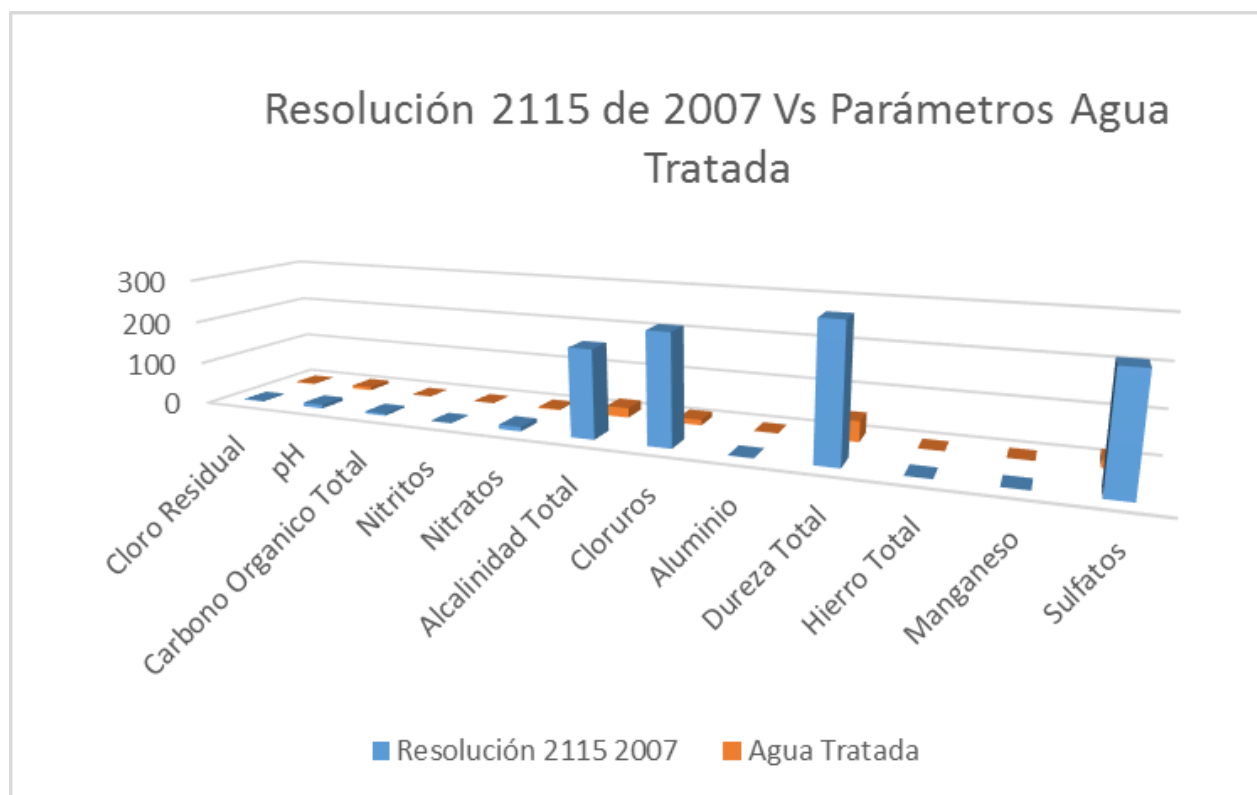


**Gráfica 8 Resolución 2115 de 2007 vs Agua filtrada**

De acuerdo a la gráfica se percibe que la dureza total está en 42,05 mg/L, se podría asimilar que el agua en esta etapa conlleva aun jabones, grasas o aceites, sin embargo de acuerdo a lo que indica la Resolución 2115 de 2007, esta cumple con los valores permisibles.

*Tabla 12 Resolución 2115 de 2007 vs Agua tratada*

Resolución 2115 de 2007		Parámetros Agua Tratada	Valor (mg/L)
Características Químicas	Valor máximo admisible (mg/L)		
Cloro Residual	2	Cloro Residual	1,61
pH	9	pH	7,8
Carbono Organico Total	5	Carbono Organico Total	0
Nitritos	0,1	Nitritos	0,01
Nitratos	10	Nitratos	2,66
Alcalinidad Total	200	Alcalinidad Total	22,45
Cloruros	250	Cloruros	12,69
Aluminio	0,2	Aluminio	0,03
Dureza Total	300	Dureza Total	46,61
Hierro Total	0,3	Hierro Total	0,04
Manganeso	0,1	Manganeso	0,03
Sulfatos	250	Sulfatos	17,68



***Gráfica 9 Resolución 2115 de 2007 vs Agua Tratada***

De acuerdo a la gráfica del componente de agua tratada, se observa que los parámetros de alcalinidad total y dureza total cumplen con la Resolución 2115 de 2007, garantizando que no sucedan efectos en cuanto económicas e indirectas sobre a salud pública.

## 9. Conclusiones

De acuerdo a la investigación planteada permitió conocer el comportamiento de los datos y validar la exergía como un indicador ambiental en cuanto a la calidad del agua, además por medio de las gráficas se interpreta la eficiencia en cuanto a cómo está la PTAP vs normatividad ambiental.

Es así que con el análisis de los resultados permite comprender los impactos de la calidad del agua de la fuente estudiada, por otro lado, admite a proceder chequeos los cuales acepta o corrobora los resultados del cálculo de la exergía química.

Mediante este estudio se identificó cual fue la etapa con mayor consumo energético y exergético, el cual fue la etapa de agua tratada con un porcentaje de 27,33% en cuanto a la exergía química, por otro lado, en cuanto a los KW, se observa que se obtuvo un porcentaje de 26,23%, es así que se concluye que esta etapa es donde mayor energía y recursos se requiere, por lo tanto el propósito final es analizar la eficiencia determinando donde hay mayor consumo dentro del ciclo integral del agua.



## 10. Bibliografía

Abreu, A. O. (2009). *Análisis exergético de bienes de equipo* (Tesis de pregrado). Escuela Técnica superior de ingeniería industrial de Barcelona. Barcelona

Arnold, M. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistema. Cinta de Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales, (3). Consultado de <https://revistas.uchile.cl/index.php/CDM/article/view/26455>

Agua en el planeta. (s. f.). Recuperado 20 de enero de 2019, de <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>

Botero E. (2000). *Valoración exergética de recursos naturales, minerales, agua y combustibles fósiles*. (Tesis de Doctorado) Universidad de Zaragoza, Zaragoza.

Borgnakke, C. Wylen, V. (2004). *Fundamentals of Thermodynamics 6th Edition* (Sixth Ed). Recuperado de <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasalan/AT053-VW6.pdf>.

Carrasquer, B., Martinez, A., y Uche, J. (2010) *An analysis of technical alternatives in a waste water treatment plant by using sludge as energy resource*. Fundación Circe, Universidad de Zaragoza.

Carranza S., Restrepo, A., J, Tibaquirá G., (2004). *Exergía del aire comprimido. Scientia Et Technica, Vol. 2*, 108-101.

Martínez, Isidoro, (1995-2019). Capítulo 3. Entropía y Exergía. Recuperado de <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c02/Capitulo%203.pdf>.

Cruz, P. (s.f). *El análisis exergético: herramienta de evaluación de procesos*. Recuperado de <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2015/01/23/132406>.

EMCALI (s.f). Manual De Operación De La Planta De Potabilización De Agua Rio Cauca, V2, CODIGO: 026M02.pdf

Jaramillo, L., Castebianco, B., Quintero, M. (2017). *Exergia e importancia en el campo de los alimentos*. Universidad de Antioquia Recuperado de [https://alojamientos.uva.es/guia\\_docente/uploads/2013/455/42611/1/Documento52.pdf](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/455/42611/1/Documento52.pdf).

Flórez, D., Henriques, I, Nguyen, T., Mendes da Silva, J., Keutenedjian, M., Pellegrini, L. F., e Oliveira J., (2018). *The contributions of Prof. Jan Szargut to the exergy and environmental assessment of complex energy systems. Energy, 161*, 482-492. Recuperado de, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.155>

Guallar, J., Valero, A., (1987). *Exergía y ambiente de referencia*. Universidad de Zaragoza, departamento de ingeniería mecánica. España.

Herrera, A., et.al. (2015). UNDP *Colombia Objetivos de Desarrollo Sostenible, Colombia: herramientas de aproximación al contexto local*.

Instituto de Hidrología Meteorológica y Estudios Ambientales (IDEAM). (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA\\_2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf)

IPCC, (2013). *Cambio climático 2013: La base de la ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático* [Stocker, TF, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, SK Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU., 1535 pp.

Informe de los Objetivos Sostenibles (2018). Recuperado el 28 agosto 2018 de <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2018/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2018-ES.pdf>.

Krishnan, S., Hedzer J., van der Kooi, Jakob de Swaan Arons. (2004). *Efficiency and Sustainability in the Energy and Chemical Industries: Scientific Principles and Case Studies*, Second Edition. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=2jywPOX4PKgC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=2jywPOX4PKgC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

Departamento Nacional de Planeación. (s. f.). *Las 16 grandes apuestas de Colombia para cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Las-16-grandes-apuestas-de-Colombia-para-cumplir-los-Objetivos-de-Desarrollo-Sostenible.aspx>

Lezcano, D. (2011), *Estudio exergético para identificar y evaluar potencialidades en energías renovables en el territorio colombiano, para planeamiento energético en periodos futuros*. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/5876/1/8161669.2012.pdf>

Leiva, A. (s. f.). *Determinación del costo exergético del tratamiento de aguas servidas en el humedal construido "Hualqui"*, Recuperado de [http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg\\_2015\\_s\\_summary\\_web.pdf](http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg_2015_s_summary_web.pdf)

Lozano A., (2011). *Análisis exergético en plantas de tratamiento en el ciclo integral del agua*. Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/6501?ln=es>

Morán, M., Shapiro, H., Ed. Reverté, *Fundamentos de Termodinámica Técnica*. 2ª ed. (4ª ed. Original, Capítulo 7, Análisis exergético).

Mora, A (2015). *Crítica del concepto de exergía*. *Revista de la Universidad de Costa Rica*, Vol. 25, Recuperado de <https://doi.org/10.15517/ri.v25i1.14926>

Moreno, T. (2011). *Aplicación de la exergía para la definición de indicadores del aprovechamiento del agua*. Universidad de Zaragoza. Recuperado el 10 septiembre 2018 de <https://zaguan.unizar.es/record/5956?ln=es>

Martinez, A., Uche, J. (2010). *Chemical exergy assessment of organic matter in a water flow*. *Energy Volume 35, Issue 1, January 2010, Pages 77-84*

Constitución Política de Colombia de 1991, (2016). Recuperado de [www.corteconstitucional.gov.co/?bT](http://www.corteconstitucional.gov.co/?bT).

Ramos, J. L., et.al (2015). *Guía pedagógica docente Gira Verde*. Universidad del Norte.

Rantz L., (1999) *Costes exergéticos. Exergía de Minerales de la tierra*.

Ribelles, J. L. G. (1990). *Termodinámica: análisis exergético*. Reverte.

Richard, E., Gordon, J., Wylen, V. (1991) *Introduction to Thermodynamics, Classical and Statistical*. Recuperado de [https://books.google.com.co/books/about/Introduction\\_to\\_Thermodynamics\\_Classical.html?id=rw1LPgAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Introduction_to_Thermodynamics_Classical.html?id=rw1LPgAACAAJ&redir_esc=y).

Sánchez, S. (2015). La crisis del agua potable México, en el marco del cambio climático. Estrategias para contrarrestar, (Tesis de Maestría), Institución Politécnico Nacional, México D.F.

Szargut, J., Morris D., y Steward F. (1986). *Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes*. Springer –Verlang.

Szargut, Jan Morris, David R. Frank R. Steward. (1998). *Exergy Analysis of Thermal, Chemical*. Recuperado [https://books.google.com.co/books?id=XYOxAAAAIAAJ&dq=editions%3AISBN0891165746&source=gbs\\_book\\_other\\_versions](https://books.google.com.co/books?id=XYOxAAAAIAAJ&dq=editions%3AISBN0891165746&source=gbs_book_other_versions)

Szargut, J. (2005). *Exergy Method, Technical and Ecological Application*. WIT Press.

Sciubba, E. (2004). *Una breve historia de la exergía, desde los comienzos hasta 2004*, Int. J. of Thermodynamics ISSN 1301-9724 Vol. 10 (No. 1), pp. 1-26,

Termodinámica Cengel 8 Ed. (s. f.). Recuperado de <https://www.studocu.com/en/document/massachusetts-institute-of-technology/rock-physics/book-solutions/termodinamica-cengel-8-ed/2781075/view>

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2017). Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. En United Nations Department of Economic and Social Affairs, Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2017 (pp. 30-31). UN. <https://doi.org/10.18356/f32af97e-es>.

Uche, J. (s.f). Análisis de la eficiencia energética de los procesos de tratamiento dentro del ciclo integral del agua - Ecología y Desarrollo. Recuperado de <https://ecodes.org/articulos-de-opinion/analisis-de-la-eficiencia-energetica-de-los-procesos-de-tratamiento-dentro-del-ciclo-integral-del-agua>

Uche, J (2013). La energía del agua. Universidad de Zaragoza. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=QJu1DesMiuoC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summy\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=QJu1DesMiuoC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summy_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

United Nations International Children's Emergency Fund - UNICEF (2018). *El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo*. Recuperado de <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO (2015). Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, agua para un mundo sostenible.

Recuperado el 30 octubre 2018 de <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>.

Yunus, A. Cengel (s. f.). Termodinámica, Sexta Edición. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/89170355/Termodinamica-Yunus-A-Cengel-Sexta-Edicion>.



## 11. Anexos

Tabla 13 Cálculos Agua Cruda

Parámetro	UNIDAD	VALOR	PM (gr/gmol)	Valencia	Conc. g/L	conc. mol/L	idad (mol/K	Carga ionic	Ln fugacidad	fugacidad	coef. Actividad	FRACCION M.	ergia estandar (kJ/mol)	$(\mu_i - \mu_{oi})n_i$	Ln(ai)*Xi	R*T*Ln(ai)*Xi	Bt	
Cloruros	mg/L Cl <sup>-1</sup>	4,90	35,45	-1	0,0049027	0,0001383	0,000138	0,00006915	- 0,00216744	0,9978349	0,000138	0,112955325	123,66	13,96806	-1,0039757	-2,48877582	11,4792797	
fosfato	mg/L PO4	0,19	94,971362	-3	0,0001886	1,98624E-06	1,99E-06	0,00000894	- 0,01021065	0,9898413	1,96607E-06	0,001622251	875,8	1,420767	-0,0213155	-0,05283949	1,367927658	
													0	0				
Acidez. CaCO3			100,08731	0	0,00708	7,07382E-05	7,07E-05	-	-	1	7,07382E-05	0,057774934	1	0,057775	-0,5521276	-1,3686803	0	
Alcalinidad CaCO3	mg/L CaCO3	24,98	100,08731	0	0,0249809	0,000249591	0,00025	-	-	1	0,000249591	0,203851747	1	0,203852	-1,6910901	-4,19207796	0	
Calcio	mg/L Ca	8,31	40,08	2	0,0083093	0,000207318	0,000207	0,00041464	- 0,01242730	0,9876496	0,000204757	0,169325049	712,4	120,6272	-1,4381939	-3,56516819	117,0619965	
Magnesio	mg/L Mg	4,79	24,32	2	0,0047947	0,000197149	0,000197	0,00039430	- 0,01233335	0,9877424	0,000194732	0,161019966	626,1	100,8146	-1,375736	-3,41034002	97,40426096	
Sulfatos	mg/L SO4	20,34	96,06	0	0,0203355	0,000211695	0,000212	-	-	1	0,000211695	0,172900607	185	31,98661	-1,4628018	-3,6261693	28,36044292	
Nitratos	mg/L NO3-	2,52	62	2	0,00266	4,29032E-05	4,29E-05	0,00008581	- 0,00914801	0,99089371	4,25125E-05	0,035040893	12,16	0,426097	-0,3527115	-0,8743438	-0,448246548	
Nitritos	mg/L NO2-	0,07	46	1	6,664E-05	1,44862E-06	1,45E-06	0,00000072	- 0,00039533	0,99960474	1,44804E-06	0,001183147	12,12	0,01434	-0,0159078	-0,03943408	-0,025094335	
Manganeso	mg/L Mn	0,87	54,93	2	0,0008659	1,57639E-05	1,58E-05	0,00003153	- 0,00695911	0,99306505	1,56545E-05	0,01287502	482	6,20576	-0,1424589	-0,35314421	5,852615467	
Sodio	mg/L Na	0,00	22,997	1	0	0	0	-	-	1	0	0	336	0	0	0	0	
Amonio	mg/L NH3	0,00	18,04	1	0	0	0	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0	
cianuro	mg/L CN-	0,00	26,02	2	0	0	0	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0	
Aluminio	mg/L Al2	0,04	26,97	3	4,492E-05	1,66543E-06	1,67E-06	0,000007494	- 0,00955595	0,99048956	1,64959E-06	0,019406649	888,4	17,24087	-0,2583992	-0,64055107	16,6003162	
Hierro	mg/L Fe	4,79	55,85	2	0,0047929	8,58175E-05	8,58E-05	0,000171635	- 0,01065968	0,98939693	8,49076E-05	1	374,3	374,3	-9,3739469	-23,2372689	351,0627311	
Dureza	mg/L CaCO3	40,97	34,68	0	0,0409692	0,001181349								0				
COT	mg/L	0,00			0		0	-	-	1	0	0	1	0	0	0	0	
Cloro residual	mg/L Cl2	0,00	70,906	1	0	0	0	-	-	1	0	0		0	0	0	0	
Total					0,1151534	0,002405724	0,001224											261,0531824
Densidad del agua (Kg/l)															Exergí químic KJ/L			0,319627234
Caudal promedio (L/s)	2385,46														KW			762,4579825



Tabla 15 Calculo Agua Filtrada

Parámetro	UNIDAD	VALOR	PM (gr/gmol)	Valencia	Conc. g/L	conc. mol/L	alid (mol/Kg)	Carga ionica	Ln fugacidad	fugacidad	coef. Actividad	FRACCION M	gía estandar (kJ/mol)	$(\mu_i - \mu_o)_{n_i}$	Ln(ai)*Xi	R*T*Ln(ai)*Xi	Bt
Cloruros	mg/L Cl <sup>-1</sup>	11,11	35,45	-1	0,0111091	0,000313374	0,000313374	0,00015669	- 0,00261628	0,9973871	0,000312555	0,2558963	123,66	31,64413	-2,06527	-5,11964012	26,52449333
fosfato	mg/L PO4	0,00	94,971362	-3	0	0	0	-	-	1	0	0	875,8	0	0	0	0
														0	0		
Acidez. CaCO3		7,80	100,08731	0	0,0078	7,7932E-05	7,7932E-05	-	-	1	7,7932E-05	0,0636381	1	0,063638	-0,6019958	-1,49229971	0
Alcalinidad CaCO3	mg/L CaCO3	18,38	100,08731	0	0,01838	0,00018364	0,00018364	-	-	1	0,00018364	0,1499575	1	0,149957	-1,2900146	-3,1978436	0
Calcio	mg/L Ca	9,02	40,08	2	0,00902	0,00022505	0,00022505	0,00045010	- 0,01257860	0,9875002	0,000222237	0,1837725	712,4	130,9195	-1,5458514	-3,83204268	127,0874819
Magnesio	mg/L Mg	4,75	24,32	2	0,00475	0,000195313	0,000195313	0,00039063	- 0,01231576	0,9877598	0,000192922	0,1594894	626,1	99,85629	-1,3641485	-3,3816156	96,47467447
Sulfatos	mg/L SO4	17,73	96,06	0	0,01773	0,000184572	0,000184572	-	-	1	0,000184572	0,1507189	185	27,883	-1,2958016	-3,21218913	24,67081517
Nitratos	mg/L NO3-	0,00	62	2	0,00266	4,29032E-05	4,29032E-05	0,00008581	- 0,00914801	0,9908937	4,25125E-05	0,0350342	12,16	0,426015	-0,3526437	-0,87417565	-0,448160342
Nitritos	mg/L NO2-	0,00	46	1	0	0	0	-	-	1	0	0	12,12	0	0	0	0
Manganeso	mg/L Mn	0,00	54,93	2	0	0	0	-	-	1	0	0	482	0	#iNUM!	#iNUM!	0
Sodio	mg/L Na	0,00	22,997	1	0	0	0	-	-	1	0	0	336	0	0	0	0
Amonio	mg/L NH3	0,00	18,04	1	0	0	0	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0
cianuro	mg/L CN-	0,00	26,02	2	0	0	0	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0
Aluminio	mg/L Al2	0,03	26,97	3	0,00003	1,11235E-06	1,11235E-06	0,000005006	- 0,00816711	0,9918661	1,1033E-06	1,5531146	888,4	1379,787	-21,304392	-52,8118925	1326,975093
Hierro	mg/L Fe	0,04	55,85	2	0,00004	7,16204E-07	7,16204E-07	0,000001432	- 0,00214605	0,9978563	7,14669E-07	1	374,3	374,3	-14,151447	-35,0803109	339,2196891
Dureza	mg/L CaCO3	42,05	34,68	0	0,04205	0,001212514								0			
COT	mg/L	0,00			0		0	-	-	1	0	0	1	0	0	0	0
Cloro residual	mg/L Cl2	0,15	70,906	1	0,00015	2,11548E-06	2,11548E-06	0,000001058	- 0,00046902	0,9995311	2,11448E-06	2,9537345		0	-38,595561	-95,6753261	-95,67532609
Total					0,1134991	0,002437126	0,001224611										274,3093045
densidad del agua (Kg/l)															Exergi quimic KJ/L		0,335922315
caudal promedio (L/s)	2385,46														KW		801,3292464

Tabla 16 Cálculos Agua Tratada

Parámetro	UNIDAD	VALOR	PM (gr/gmol)	Valencia	Conc. g/L	conc. mol/L	alid (mol/Kg)	Carga ionica	Ln fugacidad	fugacidad	coef. Actividad	FRACCION M	gía estandar (kJ/mol)	$(\mu_i - \mu_{oi})_{n_i}$	Ln(ai)*Xi	R**T*Ln(ai)*Xi	Bt
Cloruros	mg/L Cl <sup>-1</sup>	12,69	35,45	-1	0,012692	0,000358025	0,000358025	0,00017901	- 0,00268724	0,9973164	0,000357064	0,2640273	123,66	32,64962	-2,0957422	-5,19517825	27,45443902
fosfato	mg/L PO4	0,03	94,971362	-3	0,00003	3,15885E-07	3,15885E-07	0,00000142	- 0,00481238	0,9951992	3,14368E-07	0,000233	875,8	0,204019	-0,0034879	-0,00864624	0
														0	#iNUM!		
Acidez. CaCO3		7,80	100,08731	0	0,0078	7,7932E-05	7,7932E-05	-	-	1	7,7932E-05	0,0574714	1	0,057471	-0,5436606	-1,34769133	0
Alcalinidad CaCO3	mg/L CaCO3	22,45	100,08731	0	0,02245	0,000224304	0,000224304	-	-	1	0,000224304	0,1654144	1	0,165414	-1,389896	-3,44544166	0
Calcio	mg/L Ca	9,79	40,08	2	0,00979	0,000244261	0,000244261	0,00048852	- 0,01272704	0,9873536	0,000241172	0,1801321	712,4	128,3261	-1,5004999	-3,71961981	124,6064682
Magnesio	mg/L Mg	5,39	24,32	2	0,00539	0,000221628	0,000221628	0,00044326	- 0,01255055	0,9875279	0,000218864	0,1634411	626,1	102,3305	-1,3773278	-3,41428613	98,91618269
Sulfatos	mg/L SO4	17,68	96,06	0	0,01768	0,000184052	0,000184052	-	-	1	0,000184052	0,13573	185	25,11004	-1,1673177	-2,89368762	22,21635629
Nitratos	mg/L NO3-	2,66	62	2	0,00266	4,29032E-05	4,29032E-05	0,00008581	- 0,00914801	0,9908937	4,25125E-05	0,0316392	12,16	0,384733	-0,3184714	-0,78946538	-0,404732244
Nitritos	mg/L NO2-	0,01	46	1	0,00001	2,17391E-07	2,17391E-07	0,00000011	- 0,00016200	0,999838	2,17356E-07	0,0001603	12,12	0,001943	-0,0024595	-0,00609699	-0,004153949
Manganeso	mg/L Mn	0,03	54,93	2	0,00003	5,4615E-07	5,4615E-07	0,00000109	- 0,00190323	0,9980986	5,45111E-07	0,0004028	482	0,194131	-0,0058087	-0,01439939	0,17973155
Sodio	mg/L Na	0,00	22,997	1	0	0	0	-	-	1	0	0	336	0	0	0	0
Amonio	mg/L NH3	0,00	18,04	1	0	0	0	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0
cianuro	mg/L CN-	0,00	26,02	2	0	0	0	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0
Aluminio	mg/L Al2	0,03	26,97	3	0,00003	1,11235E-06	1,11235E-06	0,000005006	- 0,00816711	0,9918661	1,1033E-06	1,5531146	888,4	1379,787	-21,304392	-52,8118925	1326,975093
Hierro	mg/L Fe	0,04	55,85	2	0,00004	7,16204E-07	7,16204E-07	0,000001432	- 0,00214605	0,9978563	7,14669E-07	1	374,3	374,3	-14,151447	-35,0803109	339,2196891
Dureza	mg/L CaCO3	46,61	34,68	0	0,04661	0,001344002								0			
COT	mg/L	0,00			0		0	-	-	1	0	0	1	0	0	0	0
Cloro residual	mg/L Cl2	1,61	70,906	1	0,00161	2,27061E-05	2,27061E-05	0,000011353	- 0,00123837	0,9987624	2,2678E-05	31,703417		0	-339,03997	-840,453133	-840,4531332
Total					0,125142	0,002700016	0,001356013										272,788714
visidad del agua (Kg/l)															Exergi quimic KJ/L		0,369905112
udal promedio (L)	2255,08														KW		834,1656195

**RESUMEN ANALITICO EDUCATIVO**  
**RAE**

<b>Título del texto</b>	Determinación Del Análisis Exergético En Planta Potabilizadora Río Cauca De Colombia Para El Año 2016
<b>Nombres y Apellidos del Autor</b>	Sandra Viviana Villegas Fernández
<b>Año de la publicación</b>	2019
<b>Resumen del texto:</b>	
<p>El agua es un recurso esencial para la vida y para los seres humanos dado que este es considerado como el solvente universal. Para garantizar la potabilización de las aguas es necesario que el agua cruda (lluvia, agua superficiales o subterráneas, entre otras) debe pasar por medio de una secuencia de tratamientos, ya que dicho afluente puede contener niveles de contaminación producidos por medios antrópicos, industriales, calentamiento global entre otros. El análisis exergético es un parámetro el cual permite analizar los procesos básicos de la eficiencia exergética de cualquier sistema, es decir, que el sistema genere un procedimiento de trabajo al máximo, pero garantizando un consumo mínimo de trabajo por medio de la aplicación de la primera y segunda ley de la termodinámica. La finalidad de este proyecto es la identificación del análisis exergético de la planta potabilizadora río Cauca en el municipio de Santiago de Cali. La presente investigación se basó en la determinación del análisis exergético comparativo de los procesos de esta planta de potabilización, que distingue 3 pasos: el primero consiste en la revisión de documentos, visitas de campo y recopilación de datos, el segundo paso consistió en el análisis de datos e implementación de la estadística descriptiva con la debida interpretación de datos y el último paso consistió en el cálculo y realización de las gráficas.</p> <p>Con la determinación del análisis exergético se determinó que la etapa agua tratada contiene una mayor exergía química, con un porcentaje 26,23%. Además, se encontró que agua filtrada es la que le sigue con mayor exergía con un porcentaje de 25,20%. Se concluye que a mayor es la etapa para la producción de agua potable se necesita mayor consumo de productos y energía.</p>	
<b>Palabras Claves</b>	Exergía, eficiencia, planta potabilizadora.
<b>Problema que aborda el texto:</b>	
Determinar el consumo energético de la planta potabilizadora río cauca a través de la herramienta la exergía	

**Objetivos del texto:****Objetivo General**

Identificar aspectos de mejora para optimizar los sistemas de tratamiento de agua potable, a través del análisis exergético, en la planta de tratamiento de agua potable Río Cauca para el año 2016, en el municipio de Cali, Valle del Cauca.

**Objetivos Específicos**

- Reconocer el análisis exergético de la planta potabilizadora Río Cauca para el año 2016.
- Estimar la eficiencia exergética de la planta potabilizadora Río Cauca para el año 2016.

**Hipótesis planteada por el autor:**

Por el grado de contaminación de las aguas superficiales las cuales son materia prima para las plantas de abastecimiento de agua potable, el incremento de la población mundial y los fenómenos naturales, ha coproducido que estos factores afecten las planta potabilizadora es así que requieren de un mayor esfuerzo para hacer de esta agua un elemento organolépticamente apto para el consumo humano.

**Tesis principal del autor:**

Mediante el análisis exergético se determinara que proceso o etapa en la producción de agua apta para el consumo humano, se consume mayor energía involucrando parámetros químicos del agua cruda, con el fin de determinar la calidad del agua que produce la planta potabilizadora vs la Resolución 2115 de 2007.

**Argumentos expuestos por el autor:**

El agua es esencial para cualquier tipo de vida, sin embargo con las actividades diarias, basta con contaminar este recurso que es tan importante; sin embargo cada municipio cuenta o debería tener una planta potabilizadora para suministrar este elemento a la población, al realizar este proceso del agua se generan ciertos aspectos considerables lo que detalla que la planta requiera de un mayor esfuerzo y recurso humano para que cada vivienda tenga un agua apta para el consumo.

Es así que mediante este proyecto se identificó que etapa del proceso consume mayor energía, utilizando la herramienta de la exergía, el cual es postulado mediante la segunda ley de la termodinámica, este se puede deducir que es un indicador ambiental, ya que por medio de este se puede detallar medidas de ahorro.

**Conclusiones del texto:**

De acuerdo a la investigación planteada permitió conocer el comportamiento de los datos y validar la exergía como un indicador ambiental en cuanto a la calidad del agua, además por medio de las gráficas se interpreta la eficiencia en cuanto a cómo está la PTAP vs normatividad ambiental.

Es así que con el análisis de los resultados permite comprender los impactos de la calidad del agua de la fuente estudiada, por otro lado, admite a proceder chequeos los cuales acepta o corrobora los resultados del cálculo de la exergía química.

Mediante este estudio se identificó cual fue la etapa con mayor consumo energético y exergético, el cual fue la etapa de agua tratada con un porcentaje de 27,33% en cuanto a la exergía química, por otro

lado, en cuanto a los KW, se observa que se obtuvo un porcentaje de 26,23%, es así que se concluye que esta etapa es donde mayor energía y recursos se requiere, por lo tanto el propósito final es analizar la eficiencia determinando donde hay mayor consumo dentro del ciclo integral del agua.

#### **Bibliografía citada por el autor:**

Abreu, A. O. (2009). Análisis exergético de bienes de equipo (Tesis de pregrado). Escuela Técnica superior de ingeniería industrial de Barcelona. Barcelona

Arnold, M. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistema. Cinta de Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales, (3). Consultado de <https://revistas.uchile.cl/index.php/CDM/article/view/26455>

Agua en el planeta. (s. f.). Recuperado 20 de enero de 2019, de <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>

Botero E. (2000). Valoración exergética de recursos naturales, minerales, agua y combustibles fósiles. (Tesis de Doctorado) Universidad de Zaragoza, Zaragoza.

Borgnakke, C. Wylen, V. (2004). Fundamentals of Thermodynamics 6th Edition (Sixth Ed). Recuperado de <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasalan/AT053-VW6.pdf>.

Carrasquer, B., Martínez, A., y Uche, J. (2010) An analysis of technical alternatives in a waste water treatment plant by using sludge as energy resource. Fundación Circe, Universidad de Zaragoza.

Carranza S., Restrepo, A., J, Tibaquirá G., (2004). Exergía del aire comprimido. Scientia Et Technica, Vol. 2, 108-101.

Martínez, Isidoro, (1995-2019). Capítulo 3. Entropía y Exergía. Recuperado de <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c02/Capitulo%203.pdf>.

Cruz, P. (s.f). El análisis exergético: herramienta de evaluación de procesos. Recuperado de <http://www.madrimas.org/blogs/energiasalternativas/2015/01/23/132406>.

EMCALI (s.f). Manual De Operación De La Planta De Potabilización De Agua Rio Cauca, V2, CODIGO: 026M02.pdf

Jaramillo, L., Casteblanco, B., Quintero, M. (2017). Exergia e importancia en el campo de los alimentos. Universidad de Antioquia Recuperado de [https://alojamientos.uva.es/guia\\_docente/uploads/2013/455/42611/1/Documento52.pdf](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/455/42611/1/Documento52.pdf).

Flórez, D., Henriques, I, Nguyen, T., Mendes da Silva, J., Keutenedjian, M., Pellegrini, L. F., e Oliveira J., (2018). The contributions of Prof. Jan Szargut to the exergy and environmental assessment of complex energy systems. Energy, 161, 482-492. Recuperado de, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.155>

Guallar, J., Valero, A., (1987). Exergía y ambiente de referencia. Universidad de Zaragoza, departamento de ingeniería mecánica. España.

Herrera, A., et.al. (2015). UNDP Colombia Objetivos de Desarrollo Sostenible, Colombia: herramientas de aproximación al contexto local.

Instituto de Hidrología Meteorológica y Estudios Ambientales (IDEAM). (2014). Estudio Nacional del Agua. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA\\_2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf)

IPCC, (2013). Cambio climático 2013: La base de la ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático [Stocker, TF, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, SK Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU., 1535 pp.

Informe de los Objetivos Sostenibles (2018). Recuperado el 28 agosto 2018 de <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2018/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2018-ES.pdf>.

Krishnan, S., Hedzer J., van der Kooi, Jakob de Swaan Arons. (2004). Efficiency and Sustainability in the Energy and Chemical Industries: Scientific Principles and Case Studies, Second Edition. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=2jywPOX4PKgC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=2jywPOX4PKgC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

Departamento Nacional de Planeación. (s. f.). Las 16 grandes apuestas de Colombia para cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Las-16-grandes-apuestas-de-Colombia-para-cumplir-los-Objetivos-de-Desarrollo-Sostenible.aspx>

Lezcano, D. (2011), Estudio exergético para identificar y evaluar potencialidades en energías renovables en el territorio colombiano, para planeamiento energético en periodos futuros. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/5876/1/8161669.2012.pdf>

Leiva, A. (s. f.). Determinación del costo exergético del tratamiento de aguas servidas en el humedal construido “Hualqui”, Recuperado de [http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg\\_2015\\_s\\_summary\\_web.pdf](http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg_2015_s_summary_web.pdf)

Lozano A., (2011). Análisis exergético en plantas de tratamiento en el ciclo integral del agua. Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/6501?ln=es>

Morán, M., Shapiro, H., Ed. Reverté, Fundamentos de Termodinámica Técnica. 2ª ed. (4ª ed. Original, Capítulo 7, Análisis exergético).

Mora, A (2015). Crítica del concepto de exergía. Revista de la Universidad de Costa Rica, Vol. 25, Recuperado de <https://doi.org/10.15517/ri.v25i1.14926>

Moreno, T. (2011). Aplicación de la exergía para la definición de indicadores del aprovechamiento del agua. Universidad de Zaragoza. Recuperado el 10 septiembre 2018 de <https://zaguan.unizar.es/record/5956?ln=es>

Martinez, A., Uche, J. (2010). Chemical exergy assessment of organic matter in a water flow. Energy



Volume 35, Issue 1, January 2010, Pages 77-84

Constitución Política de Colombia de 1991, (2016). Recuperado de [www.corteconstitucional.gov.co/?bT](http://www.corteconstitucional.gov.co/?bT).

Ramos, J. L., et.al (2015). Guía pedagógica docente Gira Verde. Universidad del Norte.

Rantz L., (1999) Costes exergéticos. Exergía de Minerales de la tierra.

Ribelles, J. L. G. (1990). Termodinámica: análisis exergético. Reverte.

Richard, E., Gordon, J., Wylen, V. (1991) Introduction to Thermodynamics, Classical and Statistical. Recuperado de [https://books.google.com.co/books/about/Introduction\\_to\\_Thermodynamics\\_Classical.html?id=rw1LPgAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Introduction_to_Thermodynamics_Classical.html?id=rw1LPgAACAAJ&redir_esc=y).

Sánchez, S. (2015). La crisis del agua potable México, en el marco del cambio climático. Estrategias para contrarrestar, (Tesis de Maestría), Institución Politécnico Nacional, México D.F.

Szargut, J., Morris D., y Steward F. (1986). Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes. Springer –Verlang.

Szargut, Jan Morris, David R. Frank R. Steward. (1998). Exergy Analysis of Thermal, Chemical. Recuperado [https://books.google.com.co/books?id=XYOxAAAAIAAJ&dq=editions%3AISBN0891165746&source=gbs\\_book\\_other\\_versions](https://books.google.com.co/books?id=XYOxAAAAIAAJ&dq=editions%3AISBN0891165746&source=gbs_book_other_versions)

Szargut, J. (2005). Exergy Method, Technical and Ecological Application. WIT Press.

Sciubba, E. (2004). Una breve historia de la exergía, desde los comienzos hasta 2004, Int. J. of Thermodynamics ISSN 1301-9724 Vol. 10 (No. 1), pp. 1-26,

Termodinámica Cengel 8 Ed. (s. f.). Recuperado de <https://www.studocu.com/en/document/massachusetts-institute-of-technology/rock-physics/book-solutions/termodinamica-cengel-8-ed/2781075/view>

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2017). Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. En United Nations Department of Economic and Social Affairs, Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2017 (pp. 30-31). UN. <https://doi.org/10.18356/f32af97e-es>.

Uche, J. (s.f). Análisis de la eficiencia energética de los procesos de tratamiento dentro del ciclo integral del agua - Ecología y Desarrollo. Recuperado de <https://ecodes.org/articulos-de-opinion/analisis-de-la-eficiencia-energetica-de-los-procesos-de-tratamiento-dentro-del-ciclo-integral-del-agua>

Uche, J (2013). La energía del agua. Universidad de Zaragoza. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=QJu1DesMiuoC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summar\\_y\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=QJu1DesMiuoC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summar_y_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

United Nations International Children's Emergency Fund - UNICEF (2018). El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo. Recuperado de <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO (2015). Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, agua para un mundo sostenible. Recuperado el 30 octubre 2018 de <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>.

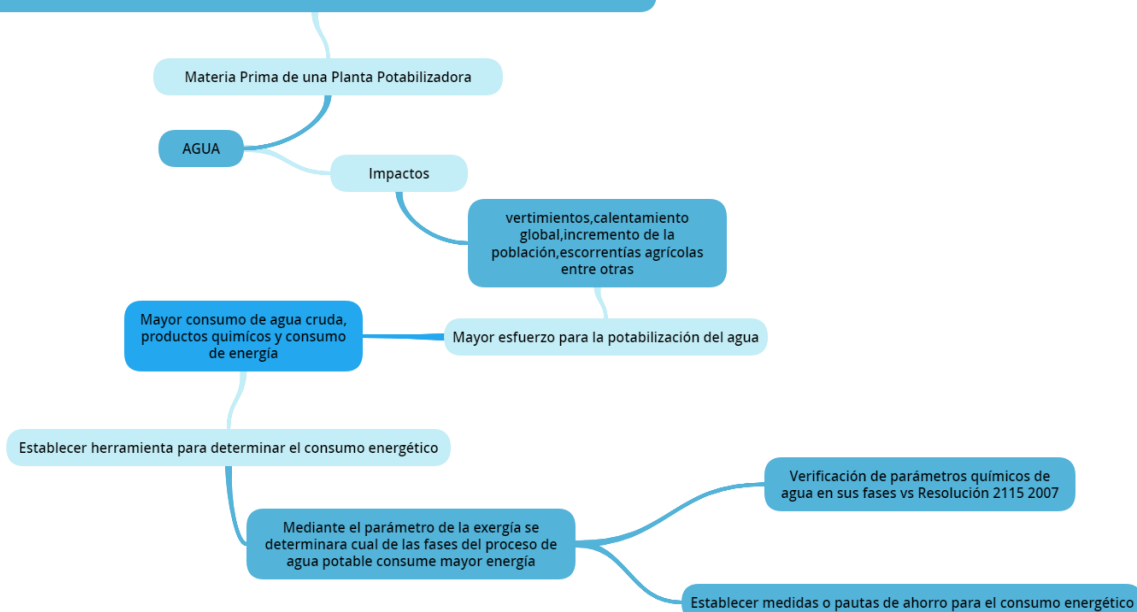
Yunus, A. Cengel (s. f.). Termodinámica, Sexta Edición. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/89170355/Termodinamica-Yunus-A-Cengel-Sexta-Edicion>.

<b>Nombre y apellidos de quien elaboró este RAE</b>	Sandra Viviana Villegas Fernández
---	-----------------------------------

<b>Fecha en que se elaboró este RAE</b>	03 abril 2019
---	---------------

**Imagen (mapa conceptual) que resume e interconecta los principales conceptos encontrados en el texto:**

### Determinación Del Análisis Exergético En Planta Potabilizadora Río Cauca De Colombia Para El Año 2016



**Comentarios finales:**

Es importante minimizar los impactos al agua, ya que este es nuestra principal fuente de vida, sin este recurso no viviríamos.

Se deben implementar medidas más estrictas en cuanto a la normatividad y ajustar los vertimientos de las empresas a los afluentes de ríos, Colombia tiene la fortuna de estar rodeado de agua, pero debemos cuidarla y protegerla.

