



ESTUDIO PRELIMINAR DE LA ENERGÍA MAREOMOTRIZ EN EL MUNICIPIO DE PIZARRO- CHOCÓ

Luisa Fernanda Méndez Triana
Diego Andres Molina Trujillo

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Noviembre de 2020

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA ENERGÍA MAREOMOTRIZ EN EL MUNICIPIO DE PIZARRO- CHOCÓ

Luisa Fernanda Méndez Triana
Diego Andres Molina Trujillo

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Jose Alfonso Avellaneda Cuseria

Línea de Investigación:
Gestión para el desarrollo urbano y rural y mejoramiento de la calidad de vida.

Gestión integral sustentable.

Infraestructura sustentable.

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2020

Estudio preliminar de la energía mareomotriz
en el municipio de Pizarro- Chocó

Luisa Fernanda Méndez Triana
Diego Andres Molina Trujillo

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

(Dedicatoria)

*A nuestros padres por todo su apoyo, fuerzas y
acompañamiento durante la carrera y elaboración de
la presente investigación.*

*A nuestras familias por su acompañamiento y apoyo a
lo largo del proceso de culminación de la
investigación y la carrera.*

Agradecimientos

Agradecemos al profesor Jose Alfonso Avellaneda Cuseria por su acompañamiento y dirección durante la elaboración de la investigación.

Agradecemos al Ingeniero Civil Manuel Felipe Ibáñez Polanco por su colaboración y despejar dudas durante la investigación.

Agradecemos a la Universidad El Bosque por su enseñanza y apoyo al realizar la investigación.

1. Tabla de Contenido

| | |
|--|----|
| 1. Tabla de Contenido..... | iv |
| 2. Listado de Tablas..... | v |
| 3. Listado de Figuras..... | vi |
| 4. Resumen..... | 1 |
| 5. Abstract..... | 1 |
| 6. Introducción..... | 2 |
| 7. Planteamiento del problema..... | 3 |
| 8. Justificación..... | 4 |
| 9. Pregunta de investigación..... | 5 |
| 10. Objetivo general y específicos..... | 5 |
| 10.1 <i>Objetivo general:</i> | 5 |
| 10.2 <i>Objetivos específicos:</i> | 5 |
| 11. Marco de referencia..... | 6 |
| 11.1 <i>Estado del arte</i> | 6 |
| 11.2 <i>Marco conceptual</i> | 8 |
| 11.3 <i>Marco teórico</i> | 9 |
| 11.4 <i>Marco normativo</i> | 12 |
| 11.5 <i>Marco geográfico</i> | 15 |
| 11.6 <i>Marco Institucional</i> | 22 |
| 12. Metodología..... | 25 |
| 12.1 <i>Metodología objetivo específico 1</i> | 26 |
| 12.2 <i>Metodología objetivo específico 2</i> | 27 |
| 12.3 <i>Metodología objetivo específico 3</i> | 28 |
| 13. Aspectos éticos..... | 30 |
| 14. Resultados, análisis y discusión..... | 30 |
| 14.1 <i>Resultados y análisis del objetivo específico 1, estimación del potencial energético mareomotriz de la zona de la Bocana del Río Baudó</i> | 31 |
| 14.1.1 <i>Cálculo potencial energético mareomotriz</i> | 31 |
| 14.2 <i>Resultados y análisis del objetivo específico 2, determinación de la demanda energética del municipio de Pizarro, Bajo Baudó</i> | 37 |

| | |
|--|----|
| <i>14.3 Resultados y análisis del objetivo específico 3, evaluación de alternativas de turbinas para el aprovechamiento energético mareomotriz de la zona de estudio</i> | 39 |
| <i>14.3.1 Turbinas hidráulicas</i> | 40 |
| <i>14.3.1.1 Turbinas Pelton:</i> | 42 |
| <i>14.3.1.2 Turbinas Francis:</i> | 44 |
| <i>14.3.1.3 Turbinas Kaplan:</i> | 47 |
| <i>14.3.1.4 Turbinas Bulbo:</i> | 49 |
| <i>14.3.2 Diagnóstico de alternativas:</i> | 51 |
| 16. Conclusiones | 53 |
| 17. Recomendaciones | 55 |
| 18. Referencias Bibliográficas | 55 |
| 19. Anexos..... | 64 |
| <i>19.1 Anexo 1. Cronograma</i> | 64 |
| <i>19.1.1 Cronograma primera fase (agosto-noviembre 2019):</i> | 64 |
| <i>19.1.2 Cronograma segunda fase (febrero- septiembre 2020):</i> | 65 |
| <i>19.2 Anexo 2. Presupuesto general</i> | 66 |
| <i>19.3 Anexo 3. Árbol de problemas</i> | 67 |
| <i>19.4 Anexo 4. Contextualización del problema</i> | 68 |
| 19.5 Anexo 5..... | 68 |

2. Listado de Tablas

Tabla 1. Marco Normativo

Tabla 2. Marco Institucional

Tabla 3. Matriz metodológica

Tabla 4. Matriz metodológica objetivo específico 1

Tabla 5. Variables objetivo específico 1

Tabla 6. Matriz metodológica objetivo específico 2

Tabla 7. Variables objetivo específico 2

Tabla 8. Matriz metodológica objetivo específico 3

Tabla 9. Localización de las estaciones mareográficas del IDEAM

Tabla 10. Promedio altura mínima

Tabla 11. Promedio altura máxima

Tabla 12. Zonas de mayor potencial mareomotriz

Tabla 13. Potencial mareomotriz por hectárea de las zonas a comparar

Tabla 14. Promedio demanda energética Pizarro

Tabla 15. Consumo de energía eléctrica por sector 2009- 2010, Chocó

Tabla 16. Valores de parámetros para cada turbina

Tabla 17. Ponderación

Tabla 18. Calificación parámetros para diagnóstico de alternativas

3. Listado de Figuras

Figura 1. Municipio de Bajo Baudó- Chocó

Figura 2. Pizarro, Chocó

Figura 3. Zonas de la playa asociadas a la distribución de fauna

Figura 4. Fondos marinos en la zona marino-costera de Pizarro

Figura 5. Áreas de concentración de tiburones, delfín nariz de botella, túnidos y medianos pelágicos

Figura 6. Diagrama metodológico

Figura 7. Esquema típico del aprovechamiento mareomotriz

Figura 8. Media de dispersión de potencial energético mareomotriz de puntos de comparación

Figura 9. Media de dispersión de potencial energético mareomotriz de puntos en comparación con altura de 3,0 metros

Figura 10. Esquema de generación eléctrica con doble embalse

Figura 11. Clasificación de turbinas según dirección de entrada del flujo del agua

Figura 12. Turbina Pelton con 4 inyectores

Figura 13. Alabe turbinas Pelton

Figura 14. Control del caudal del agua en la turbina Pelton mediante el control de la posición de la punta de la lanza

Figura 15. Efecto de número de alabes en la interacción agua-alabes

Figura 16. Rodete central turbina Francis

Figura 17. Conducción del flujo del agua al rodete

Figura 18. Fuerza de elevación y fuerza de impulso genera que el rodete gire

Figura 19. Flujo de entrada según ángulo de paletas

Figura 20. Turbina Kaplan

Figura 21. Posición de abierto y cerrado del anillo de una turbina Kaplan

Figura 22. Turbina Kaplan y sus componentes

Figura 23. Turbina Bulbo

Figura 24. Comparación equipo Kaplan con el grupo Bulbo

Figura 25. Esquema central mareomotriz La Rance

Figura 26. Turbina Bulbo en dique

4. Resumen

En Colombia existen Zonas No Interconectadas dentro de la cual se encuentra Pizarro, la cabecera municipal del municipio Bajo Baudó en Chocó, esta zona por falta de conexión a la red eléctrica nacional ha tenido que desarrollar su propia generación de energía eléctrica a partir de la quema de combustibles fósiles, la cual desafortunadamente no logra satisfacer completamente la demanda energética de Pizarro; a pesar de esto, no se han evaluado diferentes opciones de generación de energía, como lo es la energía mareomotriz, desconociendo el potencial energético mareomotriz de la Bocana de Río Baudó. Por esta razón, se busca analizar el potencial energético de las mareas para la generación de energía eléctrica en la Bocana del Río Baudó, de esta manera a partir de las dinámicas de bajamar y pleamar suministradas por los pronósticos del IDEAM, se llevó a cabo un cálculo de potencial energético y así mismo se determinó el porcentaje de cubrimiento de la demanda energética de Pizarro, además de esto, por medio de un diagnóstico de alternativas se propone una turbina para el aprovechamiento del potencial energético. En la zona de estudio existe una diferencia de alturas de marea de 3,16 metros presentando un potencial energético de 556,92 kWh-día/ha lo cual es suficiente para el cubrimiento de la demanda energética de Pizarro (5.757 kWh-día) en un área de embalse de 10,34 ha, por lo tanto, el aprovechamiento puede ser mediante una turbina Bulbo, gracias a que presenta una adaptabilidad a pequeños y medianos proyectos sin alterar su rendimiento.

Palabras clave: (Energía mareomotriz, Potencial energético mareomotriz, Energías alternativas, Demanda energética)

5. Abstract

In Colombia there are Non-Interconnected Zones within which Pizarro is located, the municipal head of the municipality of Bajo Baudó in Chocó, this zone due to the lack of connection to the national electricity network has had to develop its own electricity generation from the burning of fossil fuels, which unfortunately does not manage to completely satisfy Pizarro's energy demand; despite this, different energy generation options have not been evaluated, such as tidal energy, ignoring the tidal energy potential of the Bocana de Río Baudó. For this reason, we seek to analyze the energy potential of the tides for the generation of electric energy in the Bocana del Río Baudó. In this way, based on the low and high tide dynamics provided by IDEAM's forecasts, an energy potential calculation was carried out and the percentage of coverage of Pizarro's energy demand was determined. In the study area there is a difference in tide heights of 3.16 meters presenting an energy potential of 556.92 kWh-day/ha which is enough to cover Pizarro's energy demand (5,757 kWh-day) in a reservoir area of 10.34 ha, therefore, the use can be by means of a Bulbo turbine, thanks to the fact that it presents an adaptability to small and medium projects without altering its performance.

Keywords: (Tidal energy, Tidal energy potential, Alternative energies, Energy demand)

6. Introducción

Colombia está separado por dos divisiones energéticas en las cuales se identifican las Zonas Interconectadas (ZI) y las Zonas No Interconectadas (ZNI), dentro de las ZI se encuentran aquellos lugares que tienen acceso al servicio de energía eléctrica a través del Sistema Interconectado Nacional (SIN) y las ZNI son aquellos lugares que no poseen acceso al SIN (Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES] & Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2006). Las ZNI están conformadas por poblaciones aisladas geográficamente las cuales corresponden al 52% del territorio nacional; en estas zonas el servicio de energía depende en un 96% de plantas térmicas que utilizan combustibles fósiles para su generación (Superservicios, 2017).

Pizarro es la cabecera municipal del Bajo Baudó- Chocó en Colombia posee una extensión de 0,669 km² (Sistema de Información Ambiental de Colombia, 2019) y una población de 2.619 habitantes (Asamblea departamental del Chocó, 2016). El municipio de Pizarro se encuentra entre las ZNI de Colombia, por esta razón cuenta con una empresa generadora de energía eléctrica llamada ELECTROBAUDO s.a. E.S.P, la cual funciona a partir de la quema de combustibles fósiles (Superintendencia delegada para Energía y Gas, 2018). Se han presentado quejas por parte de la comunidad puesto que el servicio de energía presentado no satisface la demanda del municipio, adicional la empresa ELECTROBAUDO s.a. E.S.P. emitió un comunicado el día 3 de julio de 2019, por medio de la Alcaldía Municipal de Bajo Baudó en Chocó, en donde se habla de un racionamiento energético de siete horas para Pizarro debido a la falta de liquidez para la adquisición de combustible, esto en consecuencia al incumplimiento del pago de alumbrado público durante nueve años por parte del municipio, generando que sea insostenible la prestación del servicio de energía continua las veinticuatro horas para la comunidad (Moreno, 2019)

A pesar de la falta de cobertura de la demanda energética en Pizarro y de las quejas por insatisfacción del sistema no se han evaluado diferentes opciones a la generación de energía presente, como lo son las energías alternativas, tales como la energía mareomotriz, generando que haya un desconocimiento del potencial energético mareomotriz en la Bocana del Río Baudó. Por esta razón se busca analizar el potencial energético de las mareas para la generación de energía eléctrica en la Bocana del Río Baudó en el municipio de Pizarro, a partir de estimar el potencial energético de la zona, determinar la demanda energética diaria acumulada y establecer el porcentaje de cobertura y proponer una turbina para el aprovechamiento del potencial energético. De igual forma, es necesario resaltar que se cuenta con ciertas limitaciones al momento de realizar el estudio tales como: el difícil acceso a la zona para realizar pruebas de campo que permitan una visión más holística de características fundamentales para desarrollo del estudio, además de que las condiciones de pandemia limitan el acceso a la zona y por último la falta de información específica para el desarrollo de proyectos mareomotrices dado que es un campo que aún no se ha explorado muy bien en Colombia.

Para abordar el tema de energía mareomotriz se llevará a cabo el capítulo de marco de referencia, en el cual a partir del apartado del estado del arte se podrán conocer diferentes zonas del mundo en donde se han desarrollado proyectos y estudios de energía mareomotriz, como lo son Argentina, México, Chile y España, siguiente a esto en el marco conceptual se identifican diferentes términos importantes para el tema y su entendimiento; en el marco teórico se dan a conocer las teorías de energía mareomotriz, de mareas, de energía potencial, de energía cinética y de energías alternativas, las cuales son importantes para el proyecto y su desarrollo, la normatividad vigente para el progreso del proyecto se puede

visualizar en el apartado de marco normativo en la Tabla 1. Se desarrolló el marco geográfico con el fin contextualizar y entender las dinámicas sociales, económicas y ecológicas que se encuentran en la zona de estudio, y por último, las instituciones para la determinación y aprobación del proyecto se encuentran en el apartado de marco institucional en la Tabla 2.

Siguiente a la contextualización del proyecto, en el capítulo 12 se encuentra la metodología a usar para hallar los resultados con sus respectivas matrices metodológicas por objetivo específico y el diagrama de pasos a seguir, de esta manera en el capítulo 15 se pueden evidenciar los resultados, análisis y discusión de la investigación presente, para seguir en el capítulo 16 con las conclusiones y por último las recomendaciones.

7. Planteamiento del problema

Según la CONPES 3453 la prestación del servicio en las ZNI se han caracterizado por bajas coberturas, altos costos, deficiente gestión en los servicios por parte de las empresas prestadoras de servicios públicos, municipios y gobernaciones, carencia de adecuados mecanismos de inspección, vigilancia y control y constante asistencia de la Nación con recursos para mantenimientos, reposición de la infraestructura eléctrica, abastecimiento de los combustibles fósiles e inversión para la expansión del servicio (Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES] & Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2006).

Pizarro posee con una extensión de 0,669 km² de área (Sistema de Información Ambiental de Colombia, 2019), con 2.619 habitantes (Asamblea departamental del Chocó, 2016), cuenta con una empresa prestadora del servicio de energía llamada ELECTROBAUDO s.a. E.S.P. la cual genera la energía a partir de la quema de combustibles fósiles; esta quema de combustibles genera emisiones de gases contaminantes a la atmósfera afectando sus ecosistemas y la salud de los habitantes de Pizarro (Superintendencia delegada para Energía y Gas, 2018). ***A pesar de esto y teniendo en cuenta que el sistema actual no satisface totalmente la demanda energética del municipio, no se han evaluado diferentes opciones a la generación de energía presente en este momento, como lo son las energías alternativas, tales como la energía mareomotriz, generando que haya un desconocimiento del potencial energético mareomotriz en la Bocana del Río Baudó.***

Se han generado quejas por parte de la población puesto que esta empresa prestadora del servicio presenta déficit de energía y además hay racionamientos energéticos durante horas afectando sus actividades socioeconómicas y culturales.

Al presentarse estos racionamientos energéticos se deben interrumpir varias de sus actividades productivas y de comercialización, afectando la economía interna de Pizarro.

Adicional, estos déficits de energía generan daños en alimentos al no estar refrigerados, ocasionando mayor producción de residuos y proliferación de mosquitos y vectores afectando la salubridad de las personas que habitan en este municipio.

8. Justificación

El municipio de Pizarro, el cual se encuentra en las ZNI, lleva varios años presentando un déficit de energía debido a que no se tienen los insumos para la generación de esta. Por tal motivo, el municipio se ha visto afectado principalmente en sus actividades económicas, tales como el comercio, fundamentales para el sustento de la población ya que, al presentarse los racionamientos energéticos reflejados en la falta de energía durante periodos prolongados, hacen que dichas actividades se vean en la necesidad de detener sus funciones, generando pérdidas económicas, reducción de la oferta de empleo y disminución en la actividad turística.

Otro problema paralelo a dicho déficit energético en el municipio se relaciona con una mayor generación de residuos, puesto que al no tener refrigeración los alimentos entran en fase de descomposición con rapidez, haciendo que de esta forma se produzcan también mosquitos y vectores en la zona afectando la salubridad de la población del municipio.

Sumado a esto, se pueden presentar problemáticas sociales como lo son la inseguridad por falta de alumbrado público, la falta de energía eléctrica en puestos de salud y la falta de energía para la operación del aeropuerto de Pizarro.

Con base a lo anterior el proyecto conlleva impactos positivos desde el punto de vista ecológico al verse disminuidos los residuos orgánicos, ya que la generación de energía eléctrica facilita los procesos de refrigeración; además se originarán impactos positivos sobre la calidad de vida de la población del municipio, dado que existiría mayor disponibilidad energética sumado a impactos económicos donde principalmente las actividades comerciales enmarcadas en la pesca se verían favorecidas al tener la posibilidad de extender su comercialización al tener estos productos refrigerados.

9. Pregunta de investigación

¿Cuál es el potencial energético mareomotriz que presenta la Bocana de Río Baudó para la generación de energía eléctrica en el municipio de Pizarro-Chocó?

10. Objetivo general y específicos

10.1 Objetivo general:

Analizar el potencial energético de las mareas para la generación de energía eléctrica: Estudio de caso: Bocana del río Baudó en el municipio de Pizarro-Chocó.

10.2 Objetivos específicos:

1. Estimar el potencial energético mareomotriz de la zona de la Bocana del Río Baudó.
2. Determinar la demanda energética del municipio de Pizarro.
3. Evaluar alternativas de turbinas para el aprovechamiento energético mareomotriz.

11. Marco de referencia

11.1 Estado del arte

Actualmente la energía mareomotriz ha logrado tener un interés profundo en cuanto al crecimiento del potencial del sector energético, se puede ver como este tipo de energía ha tomado fuerza en países como Francia, Canadá, Suiza, Reino Unido, Estados Unidos y China, en los cuales estos sistemas de producción de energía ya se encuentran en operación y con proyección de expansión como el Reino Unido en donde mediante sistemas como los de turbinas de doble cuchilla se podría captar aproximadamente una cuarta parte del mercado de la energía marina mundial con un valor de hasta 76 mil millones de Libras Esterlinas en 2050 y se generarían más de 68.000 puestos de trabajo (Quintero & Quintero, 2015).

En España, en la zona de Ría de Muros, la cual es una gran ensenada costera de la costa noroccidental de este país, se han realizado estimaciones de las corrientes de marea que llegan a superar los 2 m/s, que establecen esta zona como prometedora para posibles proyectos de explotación de estas mareas, trabajando con la velocidad de las corrientes presentes allí y el potencial que estas presentan. Asia como otro gran referente, adelanta investigaciones para la producción de energía eléctrica a partir de las mareas, que en las últimas décadas ha tomado mayor impulso y promoción por las características dadas en el territorio. A finales de la década de los 50s, la central mareomotriz de Jizhou estaba contemplada como la primera de su tipo en China, pero poco tiempo después, durante la década de los 60s, hacia la zona costera de este país se llevaron a cabo más de 40 proyectos de pequeñas centrales mareomotrices, que contaron con una capacidad instalada de cerca de 0,5 MW. Por esta razón, el gobierno chino y a través de su gran crecimiento económico, la promoción y desarrollo de energías renovables y sostenibles aumento significativamente, lo que a su vez dio paso para la aplicación de proyectos de explotación de energía de las mareas viéndose reflejado en nuevos proyectos implementados en dicho país (Quintero & Quintero, 2015).

En cuanto a América Latina, Argentina es uno de los referentes más grandes del sector eléctrico, dependiendo principalmente de la generación térmica (59% de la capacidad instalada) y de la generación hidroeléctrica (33%) no estando desarrolladas las energías renovables. Dicha dependencia de la matriz energética de los hidrocarburos ha llevado a la promoción de nuevas alternativas energéticas para aliviar sector económico del país y además lograr incrementar la reserva de potencia de manera considerable, por lo que se propone el estudio de la construcción de una central Mareomotriz en Puerto Madryn, más precisamente en el Golfo San José. Con la misma se podrían reemplazar grandes volúmenes de combustibles fósiles importados y de Dióxido de Carbono emitido a la atmósfera por Generadoras Térmicas y aportar potencia al Sistema Interconectado Nacional, de manera de que la oferta pueda volver a operar con reservas (Chaparro, 2010).

Otro referente en América es México, donde Hernández y Leyva (2005) proponen la construcción de una central mareomotriz en la desembocadura del Río Colorado, el cual es conocido como el Delta del Río Colorado. En este evalúan la factibilidad de la construcción de dicha central, en donde tuvieron en cuenta las condiciones necesarias de los diferentes lugares para la implementación de un proyecto de central mareomotriz, tales como potencial de las mareas, análisis de costos de la energía eléctrica con la energía mareomotriz. Por la gran capacidad del embalse-marisma, existiría mayor versatilidad de

operación en la central mareomotriz, al evitar estar sujeta al régimen horario de las mareas, implicaría almacenar energía y tener mejor flexibilidad de funcionamiento. De acuerdo con estas condiciones, podría instalarse una potencia de 800 MW.

Por otro lado, se encuentra Chile, siendo este uno de los países latinoamericanos con el mayor potencial de generación de energía mareomotriz debido a sus condiciones y características de marea, su gran y extensa zona de zonas costeras lo cual posibilita aún más la investigación y el desarrollo de diferentes tecnologías para el aprovechamiento de la energía marina. Schacht (2012) propone un diseño de generador eléctrico basado en corrientes marinas que sea económico, de fácil transporte e instalación, que permita una rápida puesta en marcha y la posibilidad de ser reubicado en otra zona de ser necesario. Según el estudio, se prueba que dicho diseño logra además de suplir la demanda eléctrica de un pueblo de 31 hogares, utilizando las condiciones de recurso marino de la zona.

En cuanto a estudios en Colombia, en el año 2006 Torres y Andrade evalúan sitios donde las condiciones oceanográficas cuenten con mayor potencial para la generación eficiente y económicamente competitiva de electricidad a partir de la energía no convencional contenida en los océanos. En dicho estudio, se evaluaron las corrientes de marea de Bahía Málaga situada en el océano pacífico, encontrando así la necesidad de realizar modificaciones en los canales de acceso para lograr alcanzar velocidades de corrientes necesarias para una generación lo que, dada la magnitud para realizar estas adecuaciones, desestima la posibilidad de aplicación en dicho lugar.

La zona del Pacífico colombiano cuenta con los sitios con mayor potencial para la generación de energía eléctrica a partir de la fuerza de las mareas, como lo demuestran Gómez y Burgos en el año 2008, donde realizan un estudio de los principales lugares con capacidad para la aplicación de un proyecto mareomotriz, con el fin de promover alternativas energéticas para la costa Pacífica colombiana. Algunos de los lugares con mayor potencial son Bahía Málaga, Ensenada Catripe y Boca Yurumanguí.

En el año 2009 también se reporta el potencial energético de las corrientes de marea a lo largo de la costa Pacífica colombiana, en una extensión aproximada de 3100 km, para esto se usaron imágenes Landsat y sistemas de información geográficas para lograr la digitalización de la línea costera, en donde posteriormente se fueron correlacionadas topografía y batimetría existente en la zona. En cuanto a los niveles de marea, fueron obtenidos gracias a los registros de estaciones de medición y modelos de predicción para así generar una estimación de los niveles de marea (Polo, Rodríguez & Sarmiento, 2009).

Por último, en el año 2011 el Centro de Control de Contaminación del Pacífico analiza las condiciones de la dinámica oceanográfica y flujos de corrientes de marea en Tumaco, como potencial para la generación de energía eléctrica en este punto del Pacífico colombiano. Para dicha evaluación establecieron el aprovechamiento de la energía mareomotriz mediante el uso de turbinas de propela, siendo necesario el conocimiento de condiciones como el fondo del mar relativamente uniforme que minimice la turbulencia, profundidad que permita la instalación de las turbinas, inexistencia de tráfico marino, rápido de flujo de aguas y una ubicación cercana a la costa para la integración a la red eléctrica (Morales, 2011).

11.2 Marco conceptual

Los conceptos patrones que se desarrollan en este trabajo tienen que ver con la dinámica de las mareas en una zona costera del Pacífico colombiano, que son fenómenos que generan grandes cantidades de energía cinética por efecto de los vientos y el comportamiento de las masas de agua con respecto a estos. Las categorías que definen este comportamiento tienen que ver con las formas del relieve costero y marino que se describe a partir de:

El área biogeográfica que define la zona de contacto del mar con el continente, en este caso del océano Pacífico con Andén Pacífico continental, es la zona costera que está definida por el documento base de la Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas en 1998 como la franja de tierra firme y espacio oceánico adyacente (agua y tierra sumergida), en la cual la ecología terrestre y el uso del suelo afectan directamente la ecología del espacio oceánico y viceversa. La zona costera es una franja de ancho variable que bordea los continentes, los mares interiores y los grandes lagos. Funcionalmente, es la amplia interfase entre tierra y agua donde los procesos de producción, consumo e intercambio ocurren a altas tasas de intensidad. Ecológicamente, es un área de dinámica actividad biogeoquímica, pero con limitada capacidad para sostener varias formas de uso humano. Geográficamente, la frontera terrestre de la zona costera es necesariamente vaga. Los océanos pueden afectar el clima hasta muy adentro de la tierra (Steer et al, 1998).

Las otras categorías relacionadas con la zona costera que explican el comportamiento del mar son:

Plataforma continental: La plataforma es una continuación de las llanuras costeras y se extiende por debajo del nivel del mar con una pendiente promedio de 1:1 000 hasta profundidades que varían desde decenas hasta unas centenas de metros, con un promedio de unos 200 m. Son el producto de procesos de erosión y sedimentación relacionados con las numerosas oscilaciones de gran amplitud del nivel del mar durante el último millón de años (cuaternario reciente), (Reyna et al., 2013).

Talud continental: Marca la división entre las regiones continentales y oceánicas de la corteza terrestre. La pendiente continental es realmente el borde de las cuencas oceánicas. El océano empieza en el talud y no en la costa, tiene una pendiente mayor de 1:40 y en algunos casos es casi vertical (Reyna et al, 2013).

Llanura abisal: Constituyen las áreas planas más extensas de la superficie de la Tierra. En algunas ocasiones es difícil reconocer diferencias de profundidad en una llanura abisal (Reyna et al, 2013).

Los movimientos del mar varían en dimensión, magnitud y potencia dependiendo de los factores anteriores y se denominan mareas que son entendidas como el movimiento oscilatorio de ascenso y descenso del nivel del mar, se producen debido la fuerza de atracción gravitacional existente entre el Sol y la Luna sobre las moléculas de agua oceánica (Reyna et al, 2013).

Estas mareas tienen el siguiente comportamiento de acuerdo con sus flujos y reflujos, entendiendo como flujo lo que generalmente es causado por vientos intensos que fluyen a lo largo de la costa y ocasionan que el agua superficial se aleje de la costa. Este también puede ser ocasionado por divergencia de aguas superficiales. Este flujo divergente es reemplazado por aguas profundas (Reyna et al, 2013).

De esta forma se entiende que hay dos tipos de mareas:

Marea alta o pleamar: momento en que el agua del mar alcanza su máxima altura dentro del ciclo de las mareas (Reyna et al, 2013).

Marea baja o bajamar: momento opuesto, en que el mar alcanza su menor altura (Reyna et al, 2013). El tiempo aproximado entre una pleamar y la bajamar es de 6 horas, completando un ciclo de 24 horas 50 minutos (Reyna et al, 2013).

11.3 Marco teórico

La **teoría del desarrollo sostenible** se refiere al cambio de la explotación destructiva por parte de la sociedad a una explotación racional que proteja el medio ambiente; en el informe de Brundtland, editado por La Organización de la Naciones Unidas en 1989, se define como el “desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de cubrir sus propias necesidades”. Además, plantea que los límites del desarrollo no son absolutos, sino que se condicionan por el estado de la tecnología, por la organización de la sociedad, por el impacto al ambiente y la capacidad que tiene la biosfera de absorber los impactos de la actividad humana (Bustos & Chacón, 2009).

La energía mareomotriz como teoría está directamente relacionada con la **teoría de mares**, la cual se refiere al nivel de aguas marinas y su variación durante el día. El movimiento ascendente del agua se llama flujo, creciente, marea alta o entrante; el nivel más alto alcanzado por el agua al terminar el flujo es denominado pleamar o mar llena, una vez alcanza este límite, el aumento de la marea se detiene y la superficie del mar permanece estacionaria alrededor de ocho o diez minutos. Una vez transcurrido ese tiempo, las aguas comienzan a retirarse de manera lenta iniciando un descenso denominado refluo, bajante, marea baja o saliente; el nivel más bajo alcanzado por el agua al terminar el refluo se llama bajamar o marea baja. Cuando se alcanza este límite, el descenso se detiene y el mar permanece en este nivel durante 8 a 10 minutos, para comenzar de nuevo el proceso de flujo o ascenso de marea (Chaparro, 2010).

Las mareas cuentan con influencia directa de la luna, esto ocurre en el momento en que esta se posiciona sobre el meridiano de un lugar determinado ocasionando una mayor atracción, en este punto se genera el flujo o ascenso del agua que a su vez en el punto contrario de la tierra ocurrirá de igual forma. En este momento, la hidrosfera o superficie de agua adopta la forma de un elipsoide en donde los extremos (ejes menores) se encuentran en refluo o bajamar (Chaparro, 2010).

El ciclo de una marea, que comprende el tiempo en el cual transcurre la transición entre pleamar y bajamar, que abarca aproximadamente doce horas veinticinco minutos se le llama periodo. Generalmente, las aguas del océano presentan este comportamiento, en donde el nivel del mar sube dos veces y así mismo baja dos veces, lo que significa que en un día se presentan dos pleamares y dos bajamares separadas en igual condición por un intervalo de tiempo de 12 horas y 25 minutos (Chaparro, 2010).

Por lo tanto, la amplitud de las mareas está definida como la diferencia de nivel que se da entre pleamar y bajamar, siendo en ocasiones imperceptibles con valor de 30 a 50 centímetros, y a la vez, pueden

presentar valores demasiado notorios llegando a los 21 metros de diferencia. Este fenómeno se hace más evidente específicamente en bahías y estrechos, en donde las aguas marítimas se internan y llegan a presentar diferencias significativas. Un ejemplo de esto puede ser la Península de Vales, presentando una altura de marea de 18 metros, aunque esta no es aprovechada en su totalidad, refleja sin duda un nivel considerado como excelente para la aplicabilidad de proyectos mareomotrices (Chaparro, 2010).

En cuanto al concepto propio de **energía mareomotriz** está constituida principalmente por el fenómeno de las mareas de los océanos, siendo esta su fuente principal, la cual goza de características como gratuita, limpia e inagotable de energía. A pesar de presentar grandes potenciales y ventajas, este tipo de energía no ha sido de las más estudiadas, teniendo presencia significativa únicamente en países como Francia y lo que era la Unión Soviética, debido a la experiencia práctica de centrales mareomotrices. Sin embargo, este recurso hidráulico podría generar alrededor de 635.000 gigavatios/hora (GW/h) anuales equivalentes: 1.045.000.000 barriles de petróleo o 392.000.000 toneladas de carbón/año (Chaparro, 2010).

A pesar de esto, la energía mareomotriz presenta ciertas limitaciones, una de estas es que su aprovechamiento se da por las mismas características del fenómeno de las mareas, variando su nivel durante el día con un periodo de doce horas veinticinco minutos, la caída disponible durante este tiempo cambia de la misma manera dos veces por día, siendo estos los momentos de máxima generación de energía, sin tener en cuenta posibles precauciones de funcionamiento. Además, la marea al seguir el ritmo de la luna presenta un retardo diario de treinta minutos. Un análisis del promedio de amplitudes refleja que, a fines prácticos que se persiguen, este promedio puede considerarse constante a lo largo del año al igual que el transcurso de estos, con variaciones próximas al 4 y 5% en 18 años, esto genera que el riesgo de escases o sequía desaparezca. La energía mareomotriz está considerada dentro de las catorce nuevas fuentes de energías renovables que estudian los organismos especializados de las Naciones Unidas. Un factor por resaltar es que, esta energía no se ve limitada por condiciones climáticas o épocas del año, consistiendo en encauzar el agua de las mareas en un embalse natural o artificial, en donde en el transcurso de dicho proceso se accionen las turbinas de la central, una vez el proceso de reflujó inicie, también habrá un proceso de generación por el paso del agua encausada (Chaparro, 2010). Además de esto, se encuentra una incertidumbre al no existir un estudio detallado de la afectación en la generación de energía durante el fenómeno del niño y de la niña los cuales son la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico; son las componentes oceánicas que corresponde a la aparición de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña) que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia (SIAC, 2019).

Una gran masa de agua de cientos de kilómetros cuadrados sube y baja varios metros en pocas horas haciendo evidente que contiene una gran cantidad de energía, existen principalmente dos formas de producir energía eléctrica a partir de las mareas, la primera de ellas consiste en la diferencia de alturas, puesto que el movimiento de las mareas provoca una diferencia de alturas es posible embalsar y así generar energía potencial; este sistema funciona igual que una central hidroeléctrica de embalse. La otra forma de generación eléctrica es aprovechando la velocidad de las mareas durante el flujo y reflujó, es decir, utilizar sus corrientes para la generación de energía cinética y poder ser captada mediante hélices que funcionen para ambas direcciones (Dagá, 2008)

El método de aprovechamiento de la **energía potencial** de las mareas es el que más ha sido desarrollado en el mundo, mediante embalses en bahías y aprovechando las diferencias de alturas. Como se dijo anteriormente las mareas tienden a subir y bajar dependiendo de la gravedad y la cercanía con la luna, entonces si en el momento de pleamar se deja entrar el agua en el embalse y antes de que empiece a descender se cierran compuertas se va a crear una diferencia de altura apreciable, finalmente una vez haya descendido el nivel del mar se abren compuertas dejando salir el agua a través de las turbinas, generando de esta manera energía potencial (Dagá, 2008)

Para calcular la energía potencial realmente aprovechable hay que considerar la marea real, tal cual se ha medido en la zona de estudio y la operación hidráulica de las turbinas habrá que calcularla considerando el desnivel real de cada instante (Hiriart, 2009)

Para que el nivel del mar en un determinado lugar varíe, es necesario que entre y que salga agua, generando en ciertos lugares importantes corrientes marinas. Para esto se han desarrollado distintas tecnologías. Estas tecnologías funcionan principalmente en sistemas abiertos, basando sus diseños en el de las turbinas eólicas como sucede en la **energía cinética**; en donde los sitios potenciales principalmente son canales, pasadas estrechas de mar, o fiordos donde existan corrientes importantes producidas por las mareas. Los factores importantes que se deben tomar en cuenta que determinan el potencial del lugar son la velocidad de las corrientes de mareas y el área normal a la corriente del canal. Además, se debe tener un fondo marino con una geología adecuada para poder anclar estas turbinas, estar cerca de algún punto de conexión al sistema de distribución o transmisión y tener cerca un embarcadero apto para tareas de inspección, mantención y reparación de los equipos (Dagá, 2008).

Sin embargo, en un canal no se puede extraer toda la energía que tiene la corriente, esto es debido a distintos factores. Primero, si el canal es utilizado por grandes embarcaciones se deben dejar libres entre 15 a 20 metros desde el espejo de agua, si el canal no es navegado por estas grandes embarcaciones se deben mantener 5 metros libres para que las pequeñas embarcaciones, y las embarcaciones de pescadores comerciales puedan pasar por el lugar en forma segura. Después, en el fondo la turbina debe ir por sobre la capa bentónica de baja velocidad, la que está a una altura equivalente a un décimo del nivel medio más bajo del mar. Además, según diversos estudios realizados, con el fin de no cambiar significativamente las características hidrodinámicas y ambientales de la zona en estudio, la potencia extraída no debería ser mayor al 20% de la potencia media anual disponible, este valor fue entregado por The Carbon Trust (consultora privada inglesa) (Dagá, 2008).

Es importante mencionar que la opción de **energías alternativas** es fundamental para abarcar cualquier tipo de proyecto o propuesta que comprenda el fundamento del uso de fuentes renovables, que tengan un impacto ambiental mucho menor que las energías convencionales. Como menciona Pereira (2015), las energías alternativas comprenden la relación entre cantidad y consumo que los seres humanos pueden hacer de estas, siendo inagotables, donde el consumo presenta alteración al ambiente. Estas energías al ser muy abundantes reflejan una gran importancia, ya que no afectan ecosistemas porque su extracción se genera de fuentes naturales garantizando persistencia de esta, consideradas como energías limpias o verdes. Los beneficios de estas energías están enfocados en el referente de las energías convencionales, ya que logran la disminución del uso y dependencia de energías tradicionales, mediante la sustitución progresiva lo que a su vez contribuye con la calidad de vida de las personas, garantizando un ambiente

ecológicamente equilibrado, contribución a la disminución del calentamiento global en pro de la preservación de un ambiente sano para futuras generación.

11.4 Marco normativo

A continuación, en la Tabla 1 se presenta la normatividad vigente para el desarrollo adecuado del proyecto:

Tabla 1. Marco Normativo

| Leyes, Decretos y Resoluciones | Nombre o Asunto | Descripción |
|---|---|---|
| Derecho del mar | Carta de fecha 1° de noviembre de 2013 de La Ministra de Relaciones Exteriores dirigida al Secretario General | La República de Colombia no es Parte en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. (Derecho del Mar, 2014) |
| Constitución Política de Colombia | Capítulo 4: Del Territorio. Artículo 101 | Los límites de Colombia son los establecidos en los tratados internacionales aprobados por el Congreso y los definidos por los laudos arbitrales en que sea parte la Nación (Const., 1991, art. 101) |
| | Del mar y de su fondo. Artículo 164 | Corresponde al Estado la protección del ambiente marino, constituido por las aguas, por el suelo, el subsuelo y el espacio aéreo del mar territorial y el de la zona económica, y por las playas y recursos naturales renovables de la zona (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014). |
| Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente | Del mar y de su fondo. Artículo 165 | El ejercicio de cualquier actividad que pueda causar contaminación o depredación del ambiente marino requiere permiso (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014). |

| | | |
|----------------|--|---|
| | Del mar y de su fondo. Artículo 166 | Cualquier actividad que tenga por objeto explotar recursos marinos, deberá llevarse a cabo en forma que no cause perjuicio o deterioro sobre los demás recursos, ya fuere por agotamiento, degradación o contaminación (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014). |
| | Del mar y de su fondo. Artículo 167 | Recursos energéticos primarios (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014). |
| Ley 99 de 1993 | Artículo 5. Funciones del Ministerio. Corresponde al Ministerio del Medio Ambiente | Regular la conservación, preservación, uso y manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, en las zonas marinas y costeras, y coordinar las actividades de las entidades encargadas de la investigación, protección y manejo del medio marino, de sus recursos vivos, y de las costas y playas (Ley 99, 1993). |
| | Artículo 18. Del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras | El INVEMAR tendrá como encargo principal la investigación ambiental básica y aplicada de los recursos naturales renovables y el medio ambiente y los ecosistemas costeros y oceánicos de los mares adyacentes al territorio nacional. El INVEMAR emitirá conceptos técnicos sobre la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos marinos (Ley 99, 1993). |
| Agenda 21 | Capítulo 17: Protección de los océanos y de los mares de todo tipo, incluidos los mares cerrados y semicerrados, y de las zonas costeras, y protección, utilización racional y desarrollo de sus recursos vivos. | Propender por el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos, marinos y las zonas costeras del territorio colombiano que permita, mediante su manejo integrado y enfoque ecosistémico adaptativo, con amplia participación de las comunidades, contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población colombiana, al desarrollo armónico de las actividades productivas y a la conservación y preservación de los ecosistemas y recursos marinos y costeros (Sandoval & Liévano, 2012). |

| | | |
|---|--|--|
| | Capítulo 3. Colombia y el manejo de las zonas costeras | Mediante la creación del Ministerio de Medio Ambiente y la restauración del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR como Institución de carácter Nacional en el tema marino y costero, se logra atender y discutir al tema de MIZC a un nivel adecuado en el Estado (Steer et al, 1998). |
| Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas | Capítulo 5. Definición de la zona costera | Características más sobresalientes que describen la zona costera. Definición de la zona para el caso colombiano al nivel de política. Análisis de criterios de delimitación para las diferentes áreas especiales de manejo señalando los beneficios y limitaciones de cada uno de ellos (Steer et al, 1998). |
| | Capítulo 6. Descripción de las zonas costeras | La descripción de la base natural es el elemento fundamental para comprender la complejidad de los sistemas ambientales presentes y la razón de la enorme variabilidad biológica de las zonas costeras nacionales (Steer et al, 1998). |
| Ley 1715 de 2014 | Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. | Tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda (Ley 1715, 2014). |

| | | |
|-------------------------------|--|---|
| RESOLUCIÓN No. 038 DE 2018 | Por la cual se regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las zonas no interconectadas | Mediante esta resolución se regulan aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña y gran escala en las zonas no interconectadas y se dictan otras disposiciones relacionadas con la actividad de generación distribuida en zonas no interconectadas (Resolución 038, 2018). |
|-------------------------------|--|---|

| | | |
|-------------------------|--|---|
| DECRETO 1543 DE 2017 | Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, FENOGE, adicionando una Sección 5 al Capítulo 3 del Título III de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía 1073 de 2015 | Financiar programas de FNCE y gestión eficiente de la energía, a través de su fomento, promoción, estímulo e incentivo. El FENOGE estará regido por los lineamientos establecidos en dicha Ley, en el presente decreto, y en el manual operativo correspondiente, y será administrado por el patrimonio autónomo que se constituya en virtud del contrato de fiducia mercantil que suscriba el Ministerio de Minas y Energía con una entidad fiduciaria debidamente autorizada por la Superintendencia Financiera de Colombia (Ley 1543, 2017). |
|-------------------------|--|---|

(Autores, 2020)

11.5 Marco geográfico

El Chocó es un departamento de Colombia, ubicado en la región Pacífica, este comprende un área aproximadamente de 49.056 km² (Sistema de Información Ambiental de Colombia, 2019). Presenta una población de 505.016 habitantes, con 31 municipios (Asamblea departamental del Chocó, 2016)

El proyecto se desarrollará en el municipio de Bajo Baudó (*Figura 1*), el cual comprende un área aproximadamente de 3.499,438 km² (Sistema de Información Ambiental de Colombia, 2019), con alrededor de 17.575 habitantes (Asamblea departamental del Chocó, 2016). La zona de estudio está ubicada en Pizarro, la cabecera municipal del Bajo Baudó (*Figura 2*), el cual se encuentra al lado de la desembocadura del Río Baudó. Este comprende una extensión de 0,669 km² (Sistema de Información Ambiental de Colombia, 2019), con una población aproximada de 2.619 habitantes (Asamblea departamental del Chocó, 2016).



Figura 1. Municipio de Bajo Baudó- Chocó
Fuente: (Sistema de Información Ambiental de Colombia, 2019)



Figura 2. Pizarro, Chocó
Fuente: (Autores, 2019)

En cuanto al sistema sociopolítico del municipio del Bajo Baudó se maneja a partir de los denominados consejos comunitarios los cuales nacen a partir del año 1993 cuando se expide la ley 70, por la cual se reconocen a las comunidades negras del país el derecho a la propiedad colectiva sobre los terrenos baldíos que han venido ocupando en forma ancestral e histórica en el Pacífico colombiano y en otras regiones del país, así mismo, reconoce a estas comunidades como grupo étnico con identidad cultural propia dentro de la diversidad étnica del país, además señala la obligación del Estado colombiano de diseñar y establecer mecanismos para la protección de la identidad cultural, el fomento de su desarrollo económico y social, garantizar su autonomía en la administración y conservación de los recursos naturales existentes en sus territorios, fortalecer sus procesos organizativos y estimular la participación de los mismos en las decisiones que les afecten; esto con el fin de garantizar que estas comunidades obtengan condiciones reales de igualdad de oportunidades frente al resto de la sociedad Colombiana. A partir de la ley 70 de 1993 cada comunidad formó un consejo comunitario como una administración interna para recibir en propiedad colectiva las tierras adjudicables (Ley 70, 1993), en el Bajo Baudó existen aproximadamente 10 consejos comunitarios registrados, dentro del cual se encuentra el Consejo Comunitario Pizarro registrado bajo la resolución 1122 del 16 de mayo de 2001 (Córdoba , Hinojosa, Palomeque, & Hinestroza, 2017)

Estos consejos comunitarios cumplen diferentes funciones entre las que se pueden encontrar delimitar y asignar áreas al interior de las tierras adjudicadas, velar por la conservación y protección de los derechos de la propiedad colectiva, la preservación de la identidad cultural, el aprovechamiento y la conservación de los recursos naturales, escoger al representante legal de la respectiva comunidad en cuanto persona jurídica y hacer de amigables componedores en los conflictos internos factibles de conciliación (Ley 70, 1993).

En el Consejo Comunitario Pizarro se encuentra una población de 1.625 personas y 305 familias, de acuerdo con el levantamiento topográfico elaborado por el INCORA el área que cumple el consejo comunitario que se encuentra localizado en el municipio del Bajo Baudó, departamento del Chocó, es de siete mil ciento treinta y dos hectáreas, con cuatro mil novecientos veintidós metros cuadrados (7.132 ha- 4.922 m²). Esta comunidad se trata de un conjunto de familias de ascendencia afrocolombiana, que

poseen una cultura propia, comparten un pasado común, sus tradiciones y costumbres dentro de la relación campo poblado, que muestra conciencia de identidad y se distinguen de otros grupos étnicos. La comunidad negra del Consejo Comunitario Pizarro practica una economía de subsistencia, en donde integran actividades relacionadas con agricultura, minería, pesca, caza, recolección de productos secundarios del bosque, aprovechamiento forestal y actividades artesanales; estas actividades productivas están asociadas a la agricultura tradicional y utilizan para ello los diques aluviales (Resolución 1122, 2001).

El área en donde se encuentra el Consejo Comunitario Pizarro es considerada dentro de la Política Ambiental Nacional como un ecosistema estratégico que debe ser conservado, puesto que tiene valiosos recursos genéticos y de biodiversidad que existen en la región, constituyendo bienes vitales para el mejoramiento de la calidad de vida de las familias allí asentadas, para el desarrollo del país y para el futuro de la humanidad. De esta manera el Consejo Comunitario Pizarro conlleva a una estrategia de conservación y aprovechamiento sostenible de estos valiosos recursos naturales existentes en esta ubicación, debido que al tener obligaciones en materia ambiental continúan conservando, manteniendo y propiciando la regeneración de la vegetación protectora de aguas y garantizando con un uso adecuado la persistencia de ecosistemas como los manglares, humedales y protegiendo las especies de fauna y flora existentes (Resolución 1122, 2001).

En el municipio del Bajo Baudó se lleva a cabo convenio AUNAP- ADOS para la implementación de alternativas productivas para pescadores durante las épocas de veda, con el fin lograr el aprovechamiento responsable de los recursos pesqueros (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural , 2016); estas zonas de pesca artesanal se establecen para favorecer el desarrollo exclusivo de comunidades costeras para garantizar su seguridad alimentaria. Además, para proteger especies vulnerables y zonas de crianza identificadas que garantiza la renovación de los recursos; los cuales en ocasiones coinciden con el cuidado de ecosistemas estratégicos (Iragorri, 2016)

En la zona de estudio se tienen diferentes características ambientales como lo son el bosque aún subsistente y la capacidad del uso del suelo las cuales han permitido que se originen diversas actividades económicas como lo son la agricultura, en la cual se tienen cultivos anuales y semiperennes, encontrándose cultivos de maíz, plátano y caña, las áreas son pequeñas y distribuidas irregularmente; cultivos arbóreos y perennes, en donde vemos árboles frutales como el limón, el coco y el aguacate; la vegetación natural herbácea en la cual la actividad del hombre ha intervenido en alto grado el bosque primario aprovechando la madera y dejando abandonado el suelo; y por último la vegetación arbórea abierta en donde se realiza una tala selectiva dejando en pie árboles sin ningún valor comercial actual. Los grupos de cultivos de mayor explotación son los de menor tecnificación en cuanto a maquinaria y tipo de suelo estos son los del plátano, coco, maíz y caña de azúcar. Sin embargo, los suelos del litoral Pacífico tienen un 87% de vocación forestal, haciendo que los suelos de esta región sean en su mayoría con poca fertilidad, con alta toxicidad y acidez, sumado a la cantidad de lluvia e inundaciones es un gran limitante para la producción agrícola, por esta misma razón el litoral Pacífico tiene poca participación en cultivos comerciales del país (Alcaldía Municipal del Bajo Baudó en Chocó, 2019).

Otra actividad económica que podemos encontrar en Pizarro, Bajo Baudó, es la pesca marítima, la cual constituye una de las actividades más importantes del litoral Pacífico y es a su vez un medio de subsistencia básico para una parte considerable de la población regional, sin embargo, con la pesca actual

no se está aprovechando en su totalidad el potencial pesquero haciendo que su actividad económica no sea mayor, debido a que por la falta de infraestructura para la conexión de esta región con el centro del país es carente, impidiendo que se pueda comercializar en mayor cantidad (Alcaldía Municipal de Bajo Baudó en Chocó, 2019).

La región del Pacífico constituye una unidad ecológica, geográfica, económica, racial y sociocultural totalmente diferente del resto del país. El Pacífico colombiano comprende dos sectores bien diferenciados, separados por el Cabo Corriente; al norte, es alto y escarpado por la proximidad de la Serranía del Baudó; en cambio al sur es bajo y anegadizo, cubierto de manglares y cruzado por brazos, caños y esteros utilizados como vías de comunicación (Alcaldía Municipal del Bajo Baudó en Chocó, 2019).

En la región Pacífica se encuentra el Chocó biogeográfico colombiano, el cual está dividido en dos sectores, del norte de Buenaventura hasta Panamá se encuentra una zona de gran incidencia de la Cordillera Occidental sobre la zona marina, la cual está condicionada climáticamente por la corriente ecuatorial y le corresponde la cuenca del Río Baudó y la zona de estudio, Pizarro; y al sur de Buenaventura se encuentran las zonas de manglares y de mayor incidencia de las corrientes del sur (Velandia et al., 2019).

El Bajo Baudó hace parte de la subregión del Pacífico a la cual pertenecen los municipios de Juradó, Bahía Solano y Nuquí, posee un área de 10.133km², lo que representa el 22% del territorio y el 16.3% de la población del departamento. Su población es aproximadamente el 40% de la subregión y su cabecera municipal está situada al norte de la desembocadura del río Baudó en el Océano Pacífico. (Alcaldía Municipal de Bajo Baudó en Chocó, 2020).

El componente costero de esta zona biogeográfica cuenta con gran biodiversidad a lo largo de todo su territorio el cual se observa desde las playas del municipio como punto de referencia para la descripción ecológica dada en el municipio de Bajo Baudó (Velandia et al., 2019)

Las playas del municipio de Bajo Baudó se caracterizan por albergar una gran variedad de biota, en donde se encuentran al menos sesenta especies, entre estas hay treinta y siete especies de plantas vasculares, doce especies de invertebrados y once de vertebrados como lo son las tortugas marinas, boas, iguanas y aves playeras. Varias de las especies encontradas son utilizadas por la población local como alimento, por ejemplo, las almejas y el caracol, y otras son empleadas para artesanías. De igual manera la vegetación maderable y las palmas son utilizadas para construcción (Velandia et al., 2019).

El municipio del Bajo Baudó ha sido reconocido por la conservación de cuatro especies de tortugas marinas como lo son la tortuga verde o negra, la tortuga carey, la tortuga olivácea o golfina y la tortuga baula, por ejemplo, la playa de Virudó resalta como área importante de anidación de tortugas marinas (Velandia et al., 2019).

El relieve del terreno y las zonas de bajamar y pleamar se encuentran muy relacionadas con la distribución de la fauna asociada a las playas, por lo que pueden ser zonificadas en zona infralitoral, la cual se encuentra por debajo de la berma de bajamar, zona mesolitoral, donde rompen las olas entre las

bermas de bajamar y pleamar, y la zona supralitoral, la cual va desde la berma de pleamar en donde se acumula material vegetal por el mar hasta incluir dumas y cordones litorales (Velandia et al., 2019).

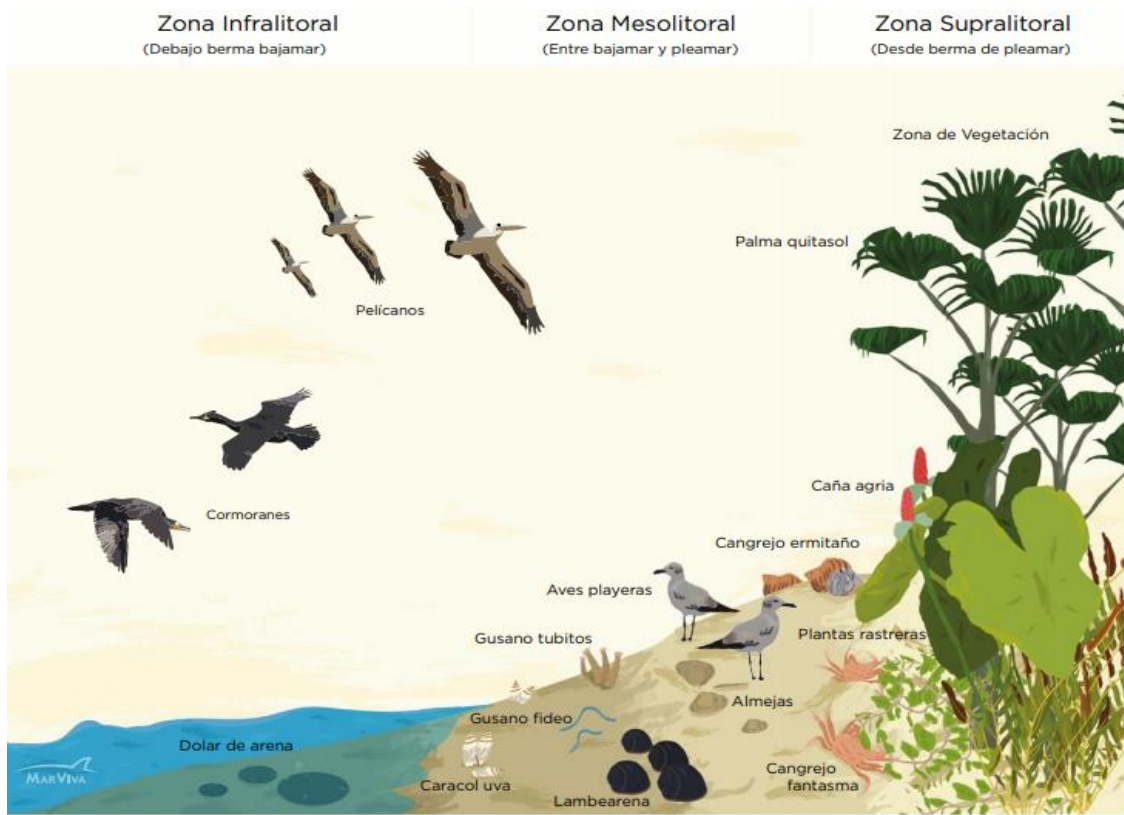


Figura 3. Zonas de la playa asociadas a la distribución de fauna.
Fuente: (Velandia et al., 2019)

En el Bajo Baudó también podemos encontrar fondos blandos o sedimentarios, los cuales son ambientes bentónicos formados por la acumulación de partículas de arena lodosas y lodos de origen terrígeno, estos constituyen un sustrato inestable y de baja complejidad topográfica que brinda alimento a gran variedad de organismos. En estos fondos del Bajo Baudó habitan gran variedad de especies de importancia comercial o ecológica que dependen de ellos, como el caracol pata de burro, los camarones de aguas profundas y varias especies de rayas (Velandia et al., 2019).



Figura 4. Fondos marinos en la zona marino-costera de Pizarro
Fuente: (Velandia et al., 2019)

En cuanto al ecosistema pelágico del Bajo Baudó, se registran grandes cantidades de peces de importancia ecológica, económica y social, como lo son la sierra castilla, el burique, el jurel, el acordeón, el atún aleta amarilla, el atún ojón, entre otras. Este ecosistema además contiene importantes áreas de concentración de especies con gran abundancia. Las áreas de grandes concentraciones identificadas en el municipio de Bajo Baudó están dadas por túnidos, medianos pelágicos y tiburones, y en una menor concentración se encuentran congregaciones de delfines nariz de botella como se observa en la Figura 5 (Velandia et al., 2019).

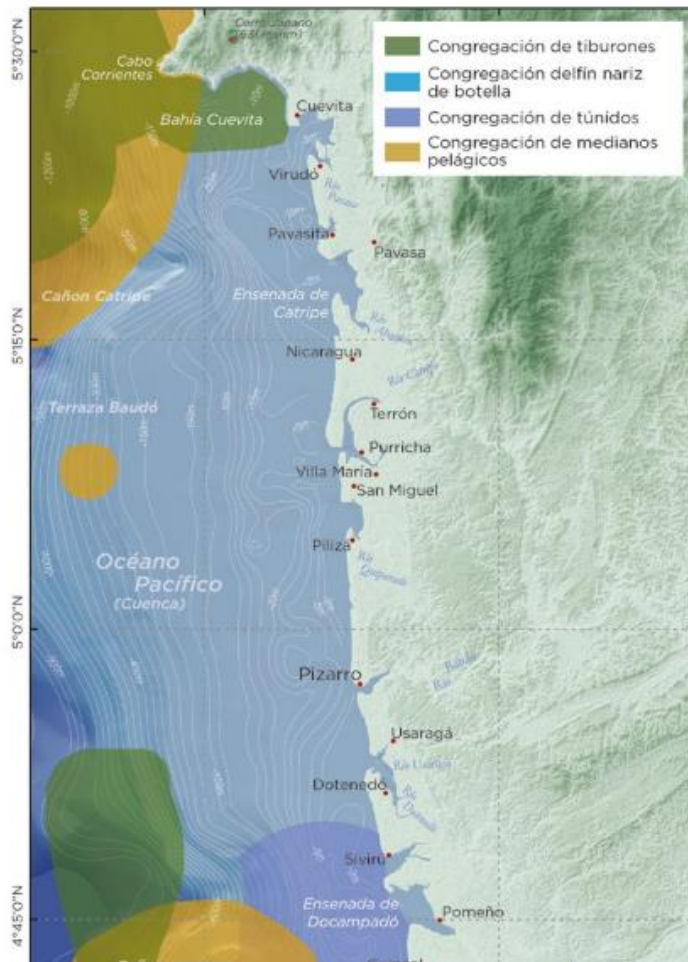


Figura 5. Áreas de concentración de tiburones, delfín nariz de botella, túnidos y medianos pelágicos
Fuente: (Velandia et al., 2019)

En cuanto a especies amenazadas, en el Bajo Baudó hay un total de cuarenta y cinco especies, entre las que encontramos ocho especies en peligro crítico, como la tortuga baula, la tortuga carey, el pez sierra, los árboles maderables de abarco y la danta. Dentro de las especies en peligro se encuentran nueve especies como lo son la tortuga verde, el caimán aguja, la marimonda chocona y los árboles maderables cedro. Dentro de la categoría vulnerable se encuentra un total de veintiocho especies, donde podemos encontrar la tortuga truenito, la ballena jorobada y el cachalote. Existen especies que no se catalogan como amenazadas pero que son susceptibles a ser amenazadas a corto plazo, categorizadas como casi amenazadas, entre estas encontramos especies como el delfín moteado, el delfín nariz de botella y la raya guitarrilla (Velandia et al., 2019).

El Chocó es mundialmente reconocido por su elevada cuota de especies endémicas, como animales, plantas, hongos y bacterias y la cuota de diversidad que aporta la región Pacífica al resto del país es inmensa, sin embargo, la extensión terrestre no representa más del 10% del territorio continental de Colombia y se encuentra alrededor de la mitad de las especies de mamíferos y aves del país, el 37% de las especies de reptiles, el 38% de los anfibios y por lo menos el 30% de las plantas superiores. Algunos

ejemplos de endemismo en el Bajo Baudó son el murciélago dorsirayado, la tortuga truenito y las ranas kokoi venenosas (Velandia et al., 2019).

En algunas comunidades biológicas marinas del Bajo Baudó se ha detectado la presencia de especies invasoras, el monitoreo pesquero realizado entre 2017 y 2018 confirmó presencia de estas especies en las aguas marinas de Bajo Baudó, entre ellas se encuentra el sábalo real, el cual es originario del océano Atlántico e ingresa por el canal de Panamá (Velandia et al., 2019).

El Bajo Baudó sin duda es un territorio que alberga un gran número de especies y algunas de ellas únicas. Este territorio además comprende diferentes rutas de especies migratorias tanto marinas como terrestres. Una de las especies migratorias más emblemáticas es la ballena jorobada la cual tiene una de las rutas migratorias más largas de los mamíferos marinos comprendida entre la región Antártica y las aguas costeras del Pacífico de Panamá, Colombia y Costa Rica, estas permanecen entre los meses de julio y octubre (Velandia et al., 2019).

Todas las tortugas marinas manifiestan comportamientos migratorios longitudinales y latitudinales. En el caso de la tortuga baula, se han identificado diversos patrones de migración, algunos de los cuales abarcan recorridos de hasta 5.000 km. Las playas y los manglares son receptores de varias especies de aves migratorias, como la garcita verde, garza patiamarilla, la garza azul, el andario maculado, la garza real, zarapito trinador, los playeritos del género *Calidris*, la gaviota reidora y la gaviota real, los cuales migran desde Norteamérica a Suramérica para evitar la temporada invernal y alimentarse (Velandia et al., 2019).

11.5.1 Zona de estudio

Teniendo en cuenta las características geográficas, que no hay presencia de especies amenazadas y los resultados de bajamar y pleamar obtenidos del IDEAM, se establece la zona de estudio en la Bocana del Río Baudó dando por entendido que las características del comportamiento de la marea según los datos son equivalentes para toda la zona de Pizarro.

11.6 Marco Institucional

A continuación, se presentan instituciones para determinaciones del proyecto, aprobaciones, entre otras.

Tabla 2. Marco Institucional

| Entidad | Interés | Normativa |
|--|---|--|
| Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible | Ser la entidad pública encargada de ejecutar los acuerdos derivados de los acuerdos internacionales relacionados al mar en lo que tiene que ver con energía y recursos marinos vivos, de definir la política Nacional Ambiental y promover la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y | Decreto 2462 de 2018, Por el cual se modifica el Decreto 1076 de 2015, Único reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en relación con la exigencia del Diagnóstico Ambiental de Alternativas para los proyectos de exploración y uso de fuentes de |

| | | |
|---|--|--|
| | aprovechamiento de los recursos naturales renovables, a fin de asegurar el desarrollo sostenible y garantizar el derecho de todos los ciudadanos a gozar y heredar un ambiente sano (Decreto 3570, 2011) | energía alternativa virtualmente contaminantes y se dictan otras disposiciones (Ley 2462, 2018).. |
| Ministerio de Defensa | La Autoridad Marítima Colombiana a través de la Dirección General Marítima Portuaria (DIMAR), se encarga de ejecutar la política del gobierno en esta materia, contando con una estructura que contribuye al fortalecimiento del poder marítimo nacional, velando por la seguridad integral marítima, la protección de la vida humana en el mar, la promoción de las actividades marítimas y el desarrollo científico y tecnológico de la Nación (Dirección General Marítima [DIMAR], 2020). | Reglamento Marítimo Colombiano (Remac): En donde figuran aspectos relacionados con temas técnicos de la normatividad marítima. El Remac fue creado a través de la Resolución No. 135 del 27 de febrero de 2018 (Resolución 135, 2018) |
| Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS) | Es un sistema marítimo y una alianza estratégica eficaz en la coordinación de las políticas marítimas de los Estados Miembros, para asegurar en el Pacífico Sudeste un espacio marítimo saludable y resiliente para las generaciones presentes y futuras (Comisión Permanente del Pacífico Sur, 2020). | Protocolo para la conservación y administración de las áreas marinas y costeras protegidas del Pacífico Sudeste (Comisión Permanente del Pacífico Sur [CPPS], 1989) |
| Alianza del Pacífico | Mecanismo de articulación política, económica y de cooperación e integración entre Chile, Colombia, México y Perú, establecido en abril de 2011 y constituido formal y jurídicamente el 6 de junio de 2012, con la suscripción del Acuerdo Marco de la Alianza del Pacífico (Alianza del Pacífico, 2020). | Ley 1721 del 27 de junio de 2014: Acuerdo marco de la alianza del Pacífico entre la República de Colombia, la República de Chile, los Estados Unidos Mexicanos y la República del Perú, firmado en la ciudad de Paranal, Antofagasta, Chile, el 6 de junio de 2012 (Ley 1721, 2014). |
| Comisión Colombiana de Oceanografía | Asesorar al Gobierno Nacional en asuntos marinos y costeros y en temas relacionados con la Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros – PNOEC, de manera planificada y | Decreto 1649 del 2 de septiembre de 2014, se asignó a la Dirección para Proyectos Especiales del Departamento Administrativo de la Presidencia de la República la |

| | | | |
|-------------------------------------|----|---|---|
| | | <p>coordinada con los diferentes organismos y entidades del Estado; con el propósito de generar conciencia y cultura marítima en los colombianos y contribuir al reconocimiento de nuestros océanos como un recurso de aprovechamiento sostenible para el desarrollo socio-económico de la Nación (Comisión Colombiana del Océano [CCO], 2015).</p> | <p>función de ejercer la Secretaría Técnica de las Comisiones Intersectoriales del Océano y del Espacio, que atendiendo a la naturaleza de la Comisión Colombiana del Océano, órgano intersectorial de asesoría, consulta, planificación y coordinación del Gobierno Nacional en materia de Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros y sus diferentes temas conexos estratégicos (Ley 1649, 2014).</p> |
| Alcaldía Municipal Pizarro | de | <p>Promotor y gestor para el desarrollo de proyectos y actividades encaminadas al crecimiento social, cultural, económico y ecológico del municipio (Alcaldía Municipal del Bajo Baudó, 2020).</p> | <p>Plan Nacional de Desarrollo: Donde se tendrá en cuenta lineamientos para implementación del proyecto (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2019).</p> |
| Ministerio de Minas y Energía | de | <p>Promover, organizar y asegurar el desarrollo y seguimiento de los programas de uso racional y eficiente de la energía (Ministerio de Minas y Energía, 2020).</p> | <p>Ley 697 de 2001: se nombra al MME como entidad responsable de PROURE (Ley 697, 2001)</p> <p>Ley 1117 de 2006: se establece que el MME definirá las condiciones y porcentajes bajo los cuales se otorgan los subsidios del sector eléctrico a los usuarios de las ZNI (Ley 1117 de 2006)</p> |
| Unidad Planeación Minero Energética | de | <p>Planeación energética de todos los recursos, incluyendo los renovables. financiación de proyectos de energización de la ZNI a partir de fuentes renovables (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2017).</p> | <p>Decreto 2119 de 1992: se transforma la Comisión Nacional de Energía (CNE) en la UPME (Decreto 2119, 1992).</p> <p>Ley 143 de 1994: determinó la organización de la UPME como Unidad Administrativa Especial; asigna funciones a la UMPE (Ley 143, 1994).</p> |
| Comisión Regulación Energía y Gas | de | <p>Regular el servicio de energía eléctrica. Definir fórmulas tarifarias y fijar costos de prestación del servicio (Comisión de Regulación de Energía y Gas [GREG],</p> | <p>Decreto 2119 de 1992: se transforma la CRE (Comisión de Regulación Energética) en la CREG y se fortalece (Decreto 2119, 1992).</p> |

2017).

| | | |
|--|--|---|
| Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas | de Identificar, fomentar y desarrollar soluciones energéticas viables financieramente y sostenibles a largo plazo (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas [IPSE], 2020). | Decreto 1140 de 1999: se transforma el ICEL en IPSE, exclusivo para las ZNI. Decreto 257 de 2004 (Decreto 1140, 1999) |
|--|--|---|

(Autores, 2020)

12. Metodología

El diseño metodológico que se siguió para la investigación presente está basado en el libro Metodología de la Investigación del autor Roberto Hernández Sampieri (2014), la metodología presentada es la siguiente:

Tabla 3. Matriz metodológica

| Alcance | Método | Enfoque | Técnica | Instrumentos |
|--|---|--|--|--|
| Esta investigación buscó explorar nuevos campos de energías alternativas no utilizadas en Colombia, como lo es la energía mareomotriz y su aplicación para el beneficio en ZNI, dentro de las cuales se encuentra el municipio de Pizarro del Bajo Baudó en Chocó; de esta manera describir a partir | Esta investigación se basó en el método deductivo , puesto que se aplicaron técnicas y procedimientos a partir una visión general hasta la obtención de datos precisos, los cuales mediante el uso de instrumentos confiables demuestran validez de lo determinado y | Esta investigación se trabajó a partir de un enfoque cuantitativo , puesto que los resultados y las descripciones fueron evaluadas a partir de cifras cuantificables, medidas y calculadas durante el desarrollo. | La investigación se realizó a partir de una revisión bibliográfica sistemática de bases de datos del IDEAM, del IPSE y de diferentes instituciones relacionadas con el sector de energía del Chocó, y también se llevó a cabo el reconocimiento de la zona de estudio. Además, a partir de los datos de pleamares y bajamares se realizaron cálculos de las diferencias de altura de | Bases de datos. Imágenes satelitales. Qgis, Geovisor SIAC, Google Earth. Libros, artículos, revistas científicas, publicaciones. Hojas de cálculo. |

de cifras el concluido de la potencial investigación. energético que se presenta en el área de estudio.

marea para determinar el potencial energético.

(Autores, 2020)

12.1 Metodología objetivo específico 1

Se realizó una búsqueda de datos correspondientes a la zona de Pizarro en Bajo Baudó en Chocó acerca de las características ecosistémicas enfocadas en las dinámicas oceánicas, las cuales son fundamentales para el desarrollo de un proyecto de energía mareomotriz.

A partir de los datos de pronósticos de pleamares y bajamares registrados por el IDEAM se halló el promedio las diferencias de altura diario, mensual y anual durante 6 años para obtener como resultado una aproximación de la diferencia de alturas de marea, luego se determinó la extensión y las dimensiones del mecanismo a utilizar para poder desarrollar la Ecuación 1 para el cálculo de energía:

$$P(W) = \rho g Q (H_f - H_i) \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde P es el potencial energético en watts, ρ es la densidad del agua de mar y para el efecto del cálculo se tomará como 1.024 kg/m^3 , g representa la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$), Q representa el caudal del agua en m^3/s , H_f es la altura máxima del nivel de marea y H_i es la altura mínima del nivel de marea (Blanco, 2012).

Por lo tanto, el diseño metodológico del objetivo específico 1 es el siguiente:

Tabla 4. Matriz metodológica objetivo específico 1:

| Alcance | Método | Enfoque | Técnica | Instrumento |
|---|--|--|--|---|
| Este objetivo buscó la descripción del potencial energético de la Bocana del Río Baudó, esto se llevó a cabo estimando la diferencia de | Este objetivo se basó en un método deductivo , debido a que para la obtención del potencial energético se debió tener una visión general del comportamiento de la marea, realizar | El enfoque para este objetivo es cuantitativo , puesto que los resultados y las descripciones fueron evaluadas a partir de cifras | Este objetivo se logró a partir de un promedio de los pronósticos de bajamar y pleamar del IDEAM, para así mediante esto hallar la diferencia de alturas de marea, y así mismo realizar el | Bases de datos IDEAM. Google Earth. Hojas de cálculo. |

altura de la marea a partir de las cifras de pronósticos de pleamar y bajamar, para así mismo mediante la Ecuación 1 hallar el potencial energético. procedimientos y cálculos para así llegar a un dato preciso de potencial energético de la zona de estudio. y cuantificables, medidas y calculadas. cálculo de estimación y del potencial energético.

(Autores,2020)

Tabla 5. Variables objetivo específico 1

| Dimensión | Variable | Aspecto | Indicador | Técnica | Instrumento |
|-----------|---------------------|----------------------|------------|------------------------------|---|
| Ecológica | Energía mareomotriz | Potencial energético | kWh-día/ha | Promedio de alturas de marea | Pronóstico de pleamar y bajamar del IDEAM |
| | | | | | Hoja de cálculo |
| | | | | Implementación de fórmula | Hoja de cálculo |

(Autores, 2020)

12.2 Metodología objetivo específico 2

Se buscó mediante informes de telemetría del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las ZNI (IPSE) los datos de la demanda energética mensual acumulada en Pizarro, para así mediante un promedio desde 2015 hasta junio de 2020 determinar la demanda energética mensual acumulada de Pizarro, Bajo Baudó en Chocó.

Por lo tanto, el diseño metodológico del objetivo específico 2 es el siguiente:

Tabla 6. Matriz metodológica objetivo específico 2:

| Alcance | Método | Enfoque | Técnica | Instrumento |
|--|---|--|--|---|
| Este objetivo buscó la descripción de la demanda | Este objetivo se basó en un método inductivo, puesto que se tomaron los | El enfoque para este objetivo es cuantitativo , | Este objetivo se logró a partir de la revisión de datos de demanda | Informes de telemetría. Hojas de cálculo. |

energética de datos de registros de Pizarro, a partir de los datos registrados por el IPSE de demanda energética mensual acumulada. puesto que los resultados y las descripciones presentadas por el IPSE fueron cifras cuantificables, medidas y calculadas. energética registrada por el IPSE y la determinación del promedio de demanda energética mensual acumulada.

(Autores,2020)

Tabla 7. Variables objetivo específico 2

| Dimensión | Variable | Aspecto | Indicador | Técnica | Instrumento |
|-----------|-------------------|------------------------------|-----------|---------------------------------------|--|
| Social | Energía eléctrica | Consumo de energía eléctrica | kWh-día | Promedio de demanda mensual acumulada | Informes mensuales de telemetría del IPSE Hoja de cálculo |

(Autores, 2020)

12.3 Metodología objetivo específico 3

Se realizó una revisión bibliográfica sistemática en donde se identificaron las turbinas hidráulicas por las cuales se puede captar la energía generada por la diferencia de alturas de marea y transformarla en energía eléctrica, de esta manera se llevó a cabo un diagnóstico de alternativas a partir de las características funcionales tales como potencia, dimensiones de la turbina, altura de caída, caudal, eficiencia y adicionalmente desde una perspectiva económica, el costo de la turbina, y de esta manera elegir la más adecuada para el caso de estudio.

Por lo tanto, el diseño metodológico del objetivo específico 3 es el siguiente:

Tabla 8. Matriz metodológica objetivo específico 3:

| Alcance | Método | Enfoque | Técnica | Instrumento |
|--|--|---|--|---|
| Este objetivo trazó una fase exploratoria en donde teniendo en cuenta los resultados de los | Este objetivo se basó en un método inductivo , debido a que se tuvo en cuenta los datos referentes a la | Este objetivo presenta un enfoque cuantitativo ya que para definir | Este objetivo se logró mediante una revisión sistemática teniendo en cuenta diferentes modelos ya aplicados en diferentes partes | Artículos, revistas, publicaciones, libros. |

objetivos específicos 1 y 2 se procedió a determinar la turbina más adecuada para la generación de energía mareomotriz teniendo en cuenta todas las características de funcionalidad de cada turbina. aplicabilidad y efectividad de modelos o alternativas aplicadas en diferentes lugares del mundo. y una adecuada o deben tener en cuenta cifras cuantificables, medidas y calculadas en cuanto a la funcionalidad de las turbinas. del mundo, y de esta manera se realizó un diagnóstico de alternativas para la elección de la turbina más adecuada para el caso de estudio.

(Autores,2020)

A continuación, se muestran los pasos a seguir para el desarrollo de la investigación:

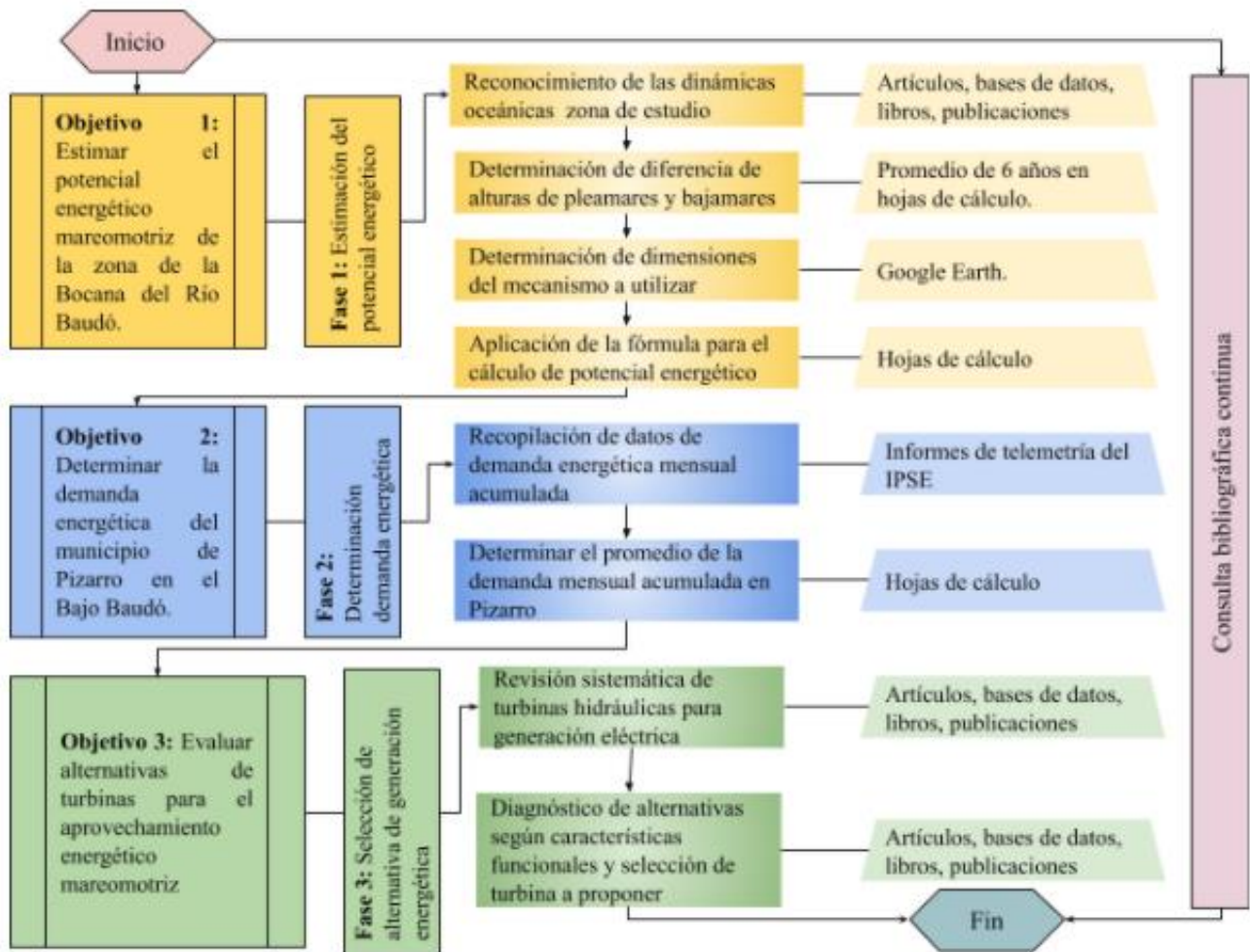


Figura 6. Diagrama metodológico.
(Autores, 2020)

13. Aspectos éticos

El presente trabajo es de naturaleza de investigación, en la cual no hubo necesidad de plantear consentimiento informado de confidencialidad, puesto que no se llevaron a cabo entrevistas ni encuestas y fue 100% revisión bibliográfica. Sin embargo, es necesario resaltar que cada uno de los documentos, informes y estudios de donde se obtuvo información fueron parafraseados y debidamente referenciados a partir de las normas APA 6° edición, con el fin de asegurar que sea un trabajo libre de plagio y fidedigno.

14. Resultados, análisis y discusión

Los resultados y análisis del presente trabajo se desarrollarán por objetivo específico.

14.1 Resultados y análisis del objetivo específico 1, estimación del potencial energético mareomotriz de la zona de la Bocana del Río Baudó

La observación del nivel de las aguas oceánicas costeras en Colombia se inició en el año 1951, operadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, mediante instrumental electromecánico, el cual registra continuamente la variación del nivel del mar; a partir del año 1986, se modifica la red mareográfica con componente automático, permitiendo el seguimiento de la variación del nivel del mar en tiempo real (Gómez & Burgos, 2008). Actualmente, Colombia cuenta con tres estaciones de la red mareográfica del IDEAM en el Pacífico, como se puede ver en la Tabla 9 (IDEAM, 2014).

Tabla 9. Localización de las estaciones mareográficas del IDEAM.

| Código | Nombre | Latitud (N) | Longitud (W) | Altura (m.s.n.m.) | Zona Marítima | MUNICIPIO |
|---------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|------------------|
| 5103901 | Tumaco | 1° 49' 0.9" | 78° 43' 49" | 3.2 | Pacífico | Tumaco |
| 5311902 | Juanchaco | 3° 55'46.4" | 77° 21' 06.6" | 2.7 | Pacífico | Buenaventura |
| 5311901 | Buenaventura | 3°53'24.09" | 77°03'43.53" | 4.1712 | Pacífico | Buenaventura |
| 1115901 | Capurganá | 8°36'58.5" | 77°19'41.8" | 3.9 | Caribe | Acandí |
| 1401903 | Escuela Naval CIOH | 10° 23' 22" | 75° 31'54.3" | 1.8 | Caribe | Cartagena |
| 1701901 | San Andrés | 12° 33'21.8" | 81° 42'14.3" | 3.0 | Caribe | San Andrés |

(IDEAM, 2014)

Gracias a estas estaciones mareográficas el IDEAM ha podido realizar el pronóstico de los niveles de marea, esto teniendo en cuenta que las mareas de la Costa Pacífica en Colombia son semidiurnas y regulares, es decir, con dos mareas altas y dos mareas bajas por día con un periodo aproximado de 12,25horas (Gómez & Burgos, 2008).

14.1.1 Cálculo potencial energético mareomotriz

El aprovechamiento de la energía de las mareas depende de la disponibilidad de estuarios, bahías o un área para la construcción de presas y así formar un embalse. Para obtener una estimación del potencial energético y calcular la energía promedio que pueda ser producida, es necesario considerar un embalse con un área específica, la cual se llenará durante el tiempo de pleamar y posteriormente vaciado durante la bajamar (Gómez & Burgos, 2008).

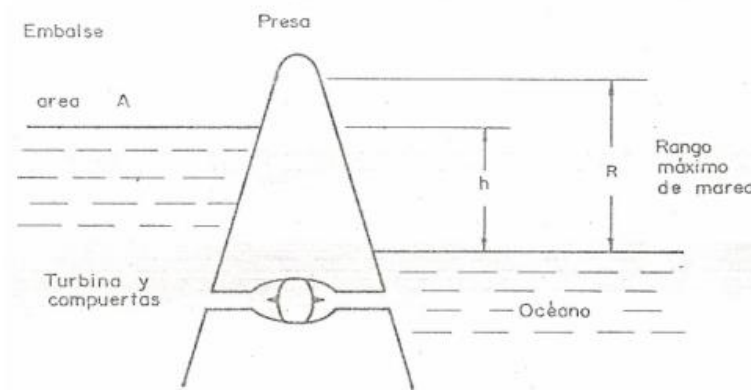


Figura 7. Esquema típico del aprovechamiento mareomotriz.
Fuente: (Gómez & Burgos, 2008)

Se debe tener en cuenta que para la estimación del potencial mareomotriz es importante relacionar el potencial hidráulico que posee el agua cuando se encuentra embalsada a cierta altura y se deja caer para generar energía eléctrica, con la potencia eléctrica en watts que se puede obtener (Blanco, 2012), esta potencia se puede estimar mediante la Ecuación 1:

$$P(W) = \rho g Q (H_f - H_i) \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde P es el potencial energético en watts, ρ es la densidad del agua de mar y para el efecto del cálculo se tomará como 1.024 kg/m^3 , g representa la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$), Q representa el caudal del agua en m^3/s , H_f es la altura máxima del nivel de marea y H_i es la altura mínima del nivel de marea (Blanco, 2012).

Se debe tener en cuenta que la altura del agua en el embalse va aumentando según se va llenando, de esta forma se tiene:

$$H_f = H_i + \frac{Q}{S} t \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde S es el área determinada del embalse y t el tiempo de periodo de marea (Blanco, 2012).

A partir de los datos registrados por los pronósticos del IDEAM se realizó un promedio de las alturas mínimas y máximas diarias durante 6 años (Anexo 5) para hallar una aproximación de estos valores en la variación de las mareas de la zona de estudio, como se puede ver a continuación en las Tablas 10 y 11.

Tabla 10. Promedio altura mínima

| Año | Promedio alturas minimas anual (m) |
|--------------------------------------|---|
| 2015 | 0,36 |
| 2016 | 0,42 |
| 2017 | 0,35 |
| 2018 | 0,38 |
| 2019 | 0,38 |
| 2020 | 0,46 |
| Promedio de altura minima (m) | 0,39 |

(Autores, 2020)

Tabla 11. Promedio altura máxima

| Año | Promedio alturas maxima anual (m) |
|--------------------------------------|--|
| 2015 | 3,84 |
| 2016 | 3,45 |
| 2017 | 3,52 |
| 2018 | 3,52 |
| 2019 | 3,49 |
| 2020 | 3,46 |
| Promedio de altura maxima (m) | 3,55 |

(Autores, 2020)

De esta manera la altura mínima de la marea tiene un valor de 0,39 metros y la altura máxima 3,55 metros, mostrando una diferencia de alturas de 3,16 metros; el área dispuesta para el embalse es de 40.000 m² (4 ha) y el tiempo de periodo de marea es de 12, 25 horas (44.100 segundos).

Para el cálculo del caudal se despejo la Ecuación 2 de la siguiente manera:

$$Q = \left(\frac{H_f - H_i}{t}\right)S \quad \text{Ecuación 3}$$

Por lo tanto, se tendrá que:

$$Q = \left(\frac{3,55 \text{ m} - 0,39 \text{ m}}{44100 \text{ s}}\right)(40.000 \text{ m}^2) = 2,864 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{Ecuación 4}$$

Una vez obtenido el caudal del agua se procede a hallar el potencial energético con la Ecuación 1:

$$P = (1024 \text{ kg/m}^3) (9,81 \text{ m/s}^2) (2,864 \text{ m}^3/\text{s}) (3,55 \text{ m} - 0,39 \text{ m}) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$P = 90913,64 \text{ J/s}$$

De esta manera se tiene en cuenta que:

$$1J = kg \ m^2 / s^2$$

$$1J/s = 1W$$

$$P(W) = 90913,64 \ W$$

$$1kW = 1000W$$

$$P = 90,91 \ kW$$

Teniendo en cuenta que el periodo de marea es de 12,25 horas se tiene que:

$$P = (90,91 \ kW)(12,25 \ h)$$

$$P = 1.113,64 \ kWh$$

El valor anteriormente hallado de potencia corresponde a un solo periodo de marea; teniendo en cuenta que la marea es semi-diurna y se repite el fenómeno de cambio de marea 2 veces al día, el valor se deberá multiplicar por el número de períodos dados, en este caso 1.113,64 kWh por 2 períodos de marea al día, dando como resultado un potencial de **2.227,68 kWh-día** en un área de 40.000 m² lo cual corresponde a 4 hectáreas. En términos de energías alternativas, el potencial energético debe ser considerado a partir de un área determinada, por lo tanto, el anterior se divide por las 4 ha consideradas en los cálculos, dando un resultado de **556,92 kWh-día /ha**.

Una vez hallado el potencial energético mareomotriz de la Bocana del Río Baudó, se analizará el resultado obtenido a partir de una comparación de potencial energético mareomotriz de diferentes puntos de la costa Pacífica colombiana, esto con el fin de corroborar que los valores se encuentran dentro de un rango estadísticamente aceptable.

A lo largo de la costa Pacífica Colombiana se pueden encontrar diferentes puntos o zonas que poseen un potencial energético mareomotriz aprovechable, Gómez y Burgos (2008) presentan en su estudio diferentes zonas de la costa pacífica, cada una con el potencial energético mareomotriz correspondiente, donde a su vez, especifican los puntos más aptos para la generación de energía.

Es importante resaltar que las condiciones y características que se usaron en el estudio de comparación son similares al trabajo realizado, teniendo en cuenta que todos los puntos están ubicados en la zona ecuatorial, poseen el mismo periodo de marea, siendo este semi-diurnos. Cabe resaltar que en dicho estudio llevan a cabo los cálculos de potencial con una diferencia de marea de 3,0 metros para todos los puntos evaluados, generalizando así el comportamiento de marea a lo largo de la costa pacífica colombiana; mientras que, en la presente investigación dicho valor es de 3,16 metros, basado en los pronósticos de marea del IDEAM para la zona de Pizarro.

En la Tabla 12 se muestran los puntos más aptos para desarrollar energía mareomotriz a lo largo de toda la costa pacífica según el estudio de Gómez y Burgos 2008.

Tabla 12. Zonas de mayor potencial mareomotriz

| Punto | Zona | Potencial (kWh) | Área (ha) |
|--------------|------------------|------------------------|------------------|
| 1 | Bahía Málaga | 160.000 | 8.000 |
| 2 | Boca Virudó | 18.000 | 900 |
| 3 | Ensenada Catripe | 21.800 | 1.100 |
| 4 | Boca Yurumangui | 31.700 | 1.600 |

(Gómez & Burgos, 2008)

Teniendo en cuenta los valores anteriores, se realiza la comparación de estas zonas hallando el valor del potencial energético mareomotriz por hectárea para cada uno de los puntos (kWh-día/ha). En la Tabla 13 se muestran los datos ya transformados de los puntos a comparar junto con el valor de la investigación actual (punto 5).

Tabla 13. Potencial mareomotriz por hectárea de las zonas a comparar

| Punto | Zona | Potencia (kWh-día/ha) |
|--------------|------------------|------------------------------|
| 1 | Bahía Málaga | 480 |
| 2 | Boca Virudó | 400 |
| 3 | Ensenada Catripe | 475,64 |
| 4 | Boca Yurumangui | 475,5 |
| 5 | Bocana Río Baudó | 556,92 |

(Autores, 2020)

Por medio de los datos de la Tabla 13 se realiza un análisis estadístico para verificar que el valor obtenido del potencial para la Bocana de Río Baudó es apropiado, esto se realiza mediante una desviación estándar la cual se aprecia en la Figura 8.

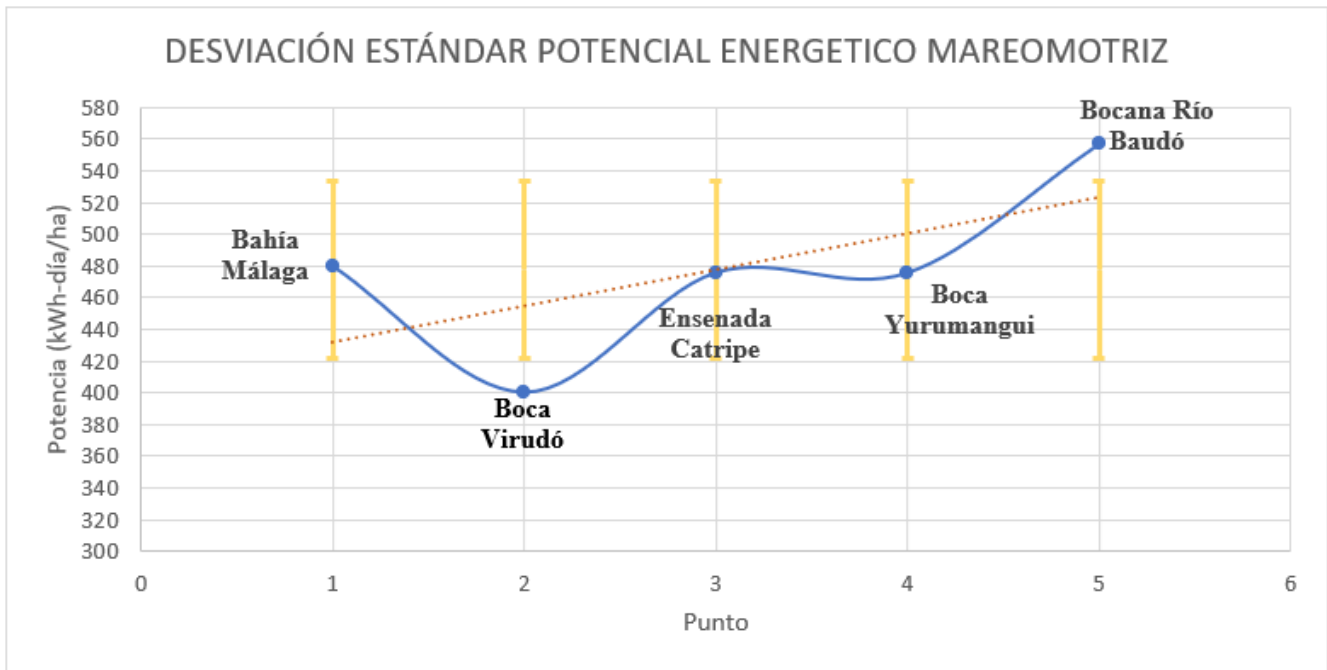


Figura 8. Media de dispersión de potencial energético mareomotriz de puntos de comparación (Autores, 2020)

Como se puede observar en la gráfica anterior la media de dispersión está en un rango entre 422 kWh-día/ha y 533 kWh-día/ha teniendo en cuenta los valores trabajados. Claramente se observa como los datos para Boca Virudó y la Bocana del Río Baudó se encuentran fuera de esta media, esto se da debido a el valor de potencial para estos dos puntos. Específicamente, para la Bocana del Río Baudó, dicho valor sale de esta media de dispersión porque la diferencia de alturas usada para este caso (3,16 metros) difiere del valor usado para el resto de los puntos (3,0 metros), lo cual influye directamente en el valor del potencial, siendo este directamente proporcional a la diferencia de alturas de la marea. Sin embargo, al momento de usar el valor de diferencia de altura de marea que se utilizó en el estudio de comparación (3,0 metros), el potencial para el caso de la Bocana del Río Baudó será de 502,27 kWh-día/ha, y al momento de procesar nuevamente se encontrara dentro de la media de dispersión de los datos de potencial energético mareomotriz, como se puede ver en la Figura 9.

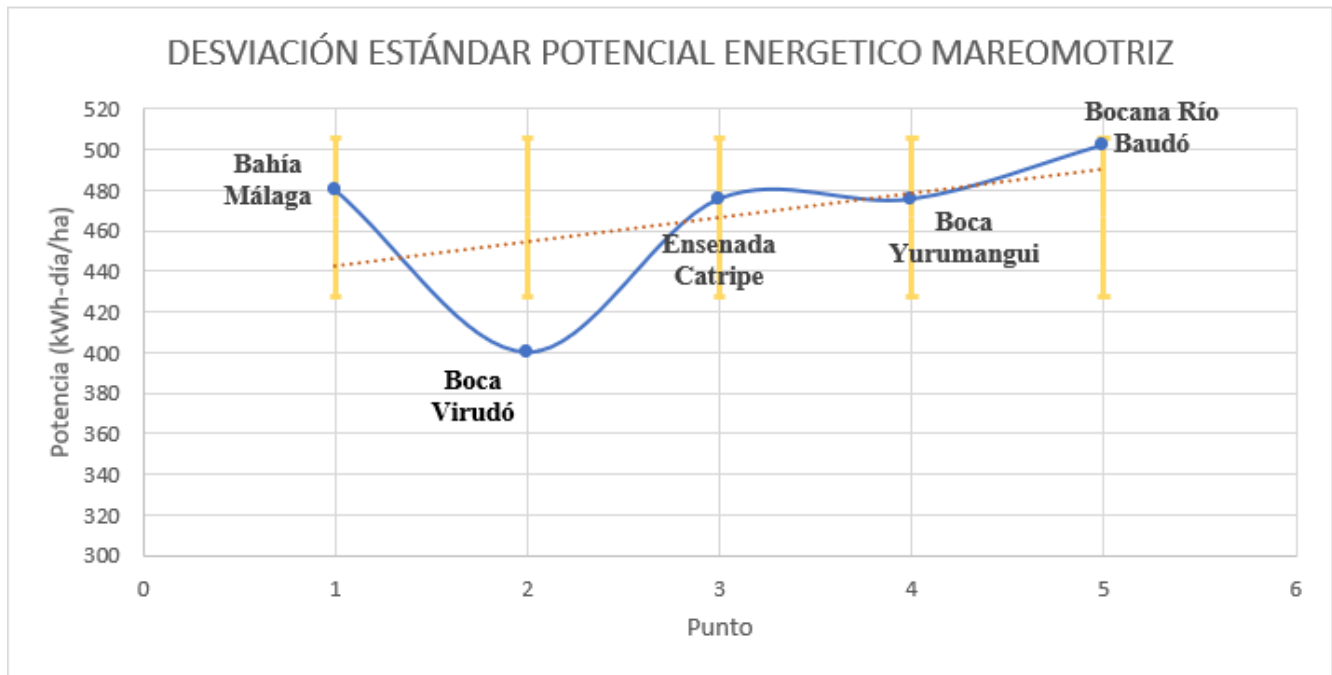


Figura 9. Media de dispersión de potencial energético mareomotriz de puntos en comparación con altura de 3,0 metros (Autores, 2020)

Una vez realizada la comparación y teniendo en cuenta las diferencias anteriormente mencionadas se puede afirmar que el valor hallado para el potencial energético de la Bocana del Río Baudó es confiable y aceptable para la generación eléctrica en esta zona.

14.2 Resultados y análisis del objetivo específico 2, determinación de la demanda energética del municipio de Pizarro, Bajo Baudó

El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE) es el encargado de las necesidades energéticas de los habitantes que no cuentan con este servicio; identificando, implementando y monitoreando soluciones energéticas sostenibles en las ZNI, esto con el fin de mejorar la calidad de vida de estas poblaciones y a su vez impulsando el uso de energías renovables en Colombia (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas [IPSE], 2020)

El IPSE se ha encargado de realizar informes de telemetría durante los últimos 8 años, en los cuales se ha registrado los valores mensuales de variables como potencia máxima, demanda de energía acumulada, energía promedio diaria y el promedio de horas de prestación del servicio de energía eléctrica; actualmente el promedio de horas de prestación del servicio de energía en Pizarro es de 22 horas y 33 minutos según el informe de telemetría del mes de junio de 2020 (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas [IPSE], 2020). De esta manera, la demanda registrada en cada uno de los meses se realizó un promedio de la demanda energética presentada durante

5 años y 6 meses, demostrando que en promedio la demanda mensual de Pizarro es de **172.710,7 kWh** como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14. Promedio demanda energética Pizarro

| Año | Enero | Febreo | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Demanda promedio mensual (kWh) |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|-----------|-----------|--------------------------------|
| | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | (kWh) | |
| 2015 | 141.600 | 127.256 | 135.467 | - | 145.877 | 131.319 | 146.279 | 136.970 | - | 142.511 | 151.804 | 165.926 | 142.500,9 |
| 2016 | 151.909 | 153.776 | 160.057 | 160.631 | 169.161 | 155.575 | 165.845 | 159.067 | 161.572 | 165.478 | 174.401 | 183.266 | 163.394,8 |
| 2017 | 175.037 | 157.001 | 194.152 | 187.388 | 123.800 | 163.897 | 188.829 | 189.180 | 185.402 | 183.027 | 175.403 | 178.089 | 175.100,4 |
| 2018 | 184.779 | 164.714 | 185.200 | 176.798 | 188.424 | 183.755 | 193.612 | 188.929 | 185.805 | 199.480 | 191.782 | 198.793 | 186.839,3 |
| 2019 | 191.036 | 177.490 | 199.013 | 188.848 | 195.608 | 154.995 | 192.648 | 188.224 | 172.129 | 169.517 | 188.992 | 199.246 | 184.812,2 |
| 2020 | 186.716 | 160.302 | 189.549 | 188.972 | 196.794 | 179.367 | | | | | | | 183.616,7 |
| Demanda energética mensual Pizarro | | | | | | | | | | | | | 172.710,7 |

(Autores, 2020)

A continuación, se analizará los resultados obtenidos de la demanda energética de la zona de estudio por medio de una comparación de la demanda energética entre el municipio de Pizarro, Bajo Baudó y Nuquí, ambos ubicados en la costa Pacífica de Colombia y con dinámicas socioeconómicas similares, lo cual permitirá un mejor análisis de los datos obtenidos, adicionalmente, se determinará el porcentaje de cubrimiento de la demanda energética de Pizarro teniendo en cuenta el potencial mareomotriz de la zona.

De esta manera, para contextualizar las diferencias y similitudes de los municipios a comparar, Pizarro cuenta con una población de 2.619 habitantes con una extensión territorial de 0,669 km² (Asamblea departamental del Chocó, 2016), sus actividades económicas principales son la agricultura y la pesca artesanal marítima (Alcaldía Municipal del Bajo Baudó en Chocó, 2019), cuenta en promedio con una demanda mensual acumulada de 172.710,7 kWh que equivale a una demanda de **5.757 kWh-día**. Según el informe de telemetría del mes de junio de 2020 su potencia máxima mensual fue de 374,88 kW y se tienen 18 días del mes con una prestación del servicio de 24 horas y 12 días con una oscilación entre 17 horas y 23 horas (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas [IPSE], 2020).

Nuquí cuenta con una población de 2.573 habitantes (Alcaldía Municipal de Nuquí en Chocó, 2020), sus actividades económicas principales son el turismo, agricultura, pesca y ganadería a pequeña escala (Consejo Municipal de Nuquí, 2020), según el informe de telemetría de junio de 2020 cuenta con una demanda mensual acumulada de 226.027 kWh y diaria de 7.534, su potencia máxima mensual fue 458,66 kW y se tiene 29 días del mes con una prestación del servicio de 24 horas y 1 día con 22 horas y 15 minutos (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas [IPSE], 2020)

Partiendo de las características de ambos municipios se logra evidenciar una clara diferencia en cuanto al desarrollo de actividades económicas presentes en cada uno, lo que en este caso llega a representar un aumento significativo en el consumo del servicio de energía eléctrica para el municipio de Nuquí, que a pesar de tener una población menor a Pizarro, su actividad económica principal es el turismo, además presenta un mayor flujo anual de población turística, la cual no se ve reflejada directamente en las

estadísticas municipales, pero que sí puede notarse al momento de comparar la demanda mensual acumulada de ambos municipios.

De esta manera, se debe tener en cuenta que cada una de las actividades realizadas en estos municipios tienen un consumo energético diferente, en el informe de Coyuntura Económica Regional (ICER) para el departamento del Chocó año 2010 se determinan cuáles son las principales actividades que presentan consumo significativo de energía en este departamento, teniendo actividades comerciales, industriales, residenciales y otras. En la Tabla 15 se puede ver que la actividad residencial es la que presenta mayor consumo energético, seguida de la comercial y otras actividades, mientras la actividad industrial presenta bajos niveles de consumo energético, esto se debe a que el municipio no cuenta con grandes actividades industriales por su falta de conectividad (Banco de la República, 2011).

Tabla 15. Consumo de energía eléctrica por sector 2009- 2010, Chocó
(Megavatios /hora)

| Usos | 2009 | 2010 | Variación | |
|-------------|--------|--------|-----------|------------|
| | | | Absoluta | Porcentual |
| Total | 85.874 | 89.628 | 3.754 | 4,4 |
| Industrial | 1.117 | 652 | -465 | -41,6 |
| Comercial | 14.605 | 17.133 | 2.528 | 17,3 |
| Residencial | 56.458 | 59.579 | 3.121 | 5,5 |
| Otros* | 13.694 | 12.264 | -1.430 | -10,4 |

Fuente: (Banco de la República, 2011)

Cabe resaltar, el municipio de Pizarro no cuenta con una cobertura del servicio como la de Nuquí, ya que este presenta menos horas de cobertura al día en general en los últimos 5 años y 6 meses como se registra en los informes de telemetría, a pesar de que ambos municipios cuentan con generación de energía a partir de la quema de combustibles fósiles. Además de esto, según datos de la alcaldía municipal, Pizarro presenta una deuda con la empresa prestadora del servicio de 9 años, lo que influye directamente con la adquisición del combustible para la generación del servicio, generando insuficiencia energética.

Teniendo en cuenta que la demanda energética diaria acumulada es aproximadamente de **5.757 kWh** y el potencial energético mareomotriz por hectárea es de **556,92 kWh- día/ha**, se requeriría de una central mareomotriz soportada en un embalse de **10,34 ha** para el cubrimiento total de la demanda energética. El proyecto sobre el cual se ha calculado el potencial que corresponde a 4 ha tendrá un porcentaje de cubrimiento de la demanda energética de un 38,70%.

14.3 Resultados y análisis del objetivo específico 3, evaluación de alternativas de turbinas para el aprovechamiento energético mareomotriz de la zona de estudio

Las instalaciones mareomotrices con embalses pueden operar cuando la marea está entrando (flujo), cuando la marea está saliendo (reflujo) y en flujo y reflujo; el modo de flujo consiste en generar energía eléctrica cuando la marea está ascendiendo y el nivel del agua en el interior del embalse es inferior al

nivel de la marea, de esta forma, la generación de energía es cuando el flujo del agua del mar va hacia adentro del embalse. El modo de reflujos consiste en generar energía eléctrica cuando la marea está descendiendo, es decir, cuando la marea asciende se permite su paso al embalse y cuando alcanza su nivel máximo se cierran compuertas esperando que la marea descienda y se tenga cierta diferencia de alturas para permitir el paso del agua por las turbinas; y por último, el modo de flujo y reflujos consiste en generar energía eléctrica aprovechando el ascenso y descenso de la marea (López, Hiriart, & Silva, 2010).

Con estos modos de operación de embalses existen intervalos de tiempo en los que no se tiene generación eléctrica, debido a que las alturas del agua dentro y fuera del embalse son los mismos, por lo cual existen los esquemas de doble embalse, en el cual uno de los embalses permite solo la entrada de agua cuando el nivel dentro del mismo es menor que la marea, y en el otro embalse sólo se permite la salida del agua cuando su nivel de agua es mayor que la marea, los generadores se encuentran instalados entre estos dos embalses y en la salida del embalse número dos, donde dependiendo del volumen del embalse y la potencia instalada siempre tendrá un desnivel para generar energía la mayor parte del tiempo (López, Hiriart, & Silva, 2010).

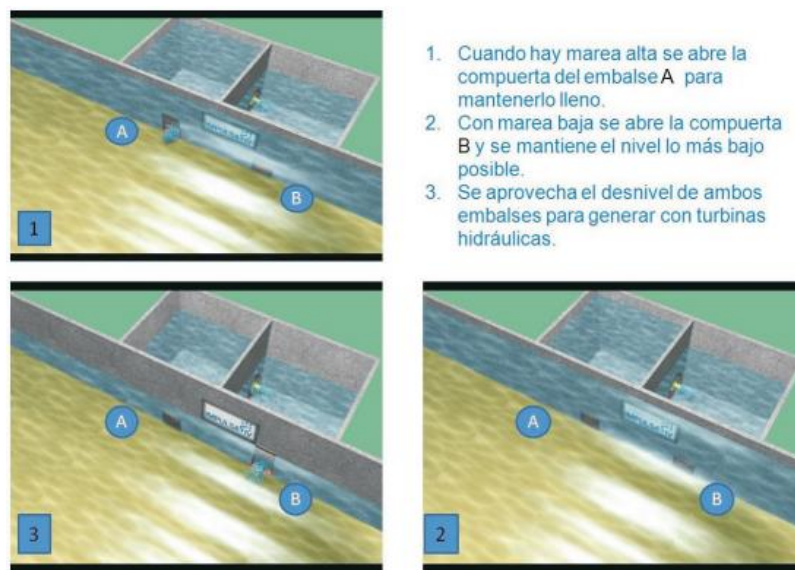


Figura 10. Esquema de generación eléctrica con doble embalse
Fuente: (Hiriart, 2009)

La cantidad de energía que es posible aprovechar está directamente relacionada con la amplitud de la marea, la cantidad de turbinas y el área del embalse; la combinación de estos tres factores es de gran importancia para los resultados con mayor eficiencia (López, Hiriart, & Silva, 2010).

14.3.1 Turbinas hidráulicas

Una turbina hidráulica tiene, básicamente, una serie de álabes fijos, (distribuidor), y otra de álabes móviles, (rueda, rodete, rotor). Estas turbinas fijas o de rueda móvil se componen de tres partes que el

flujo de agua atraviesa, los cuales son el distribuidor, el rodete y el difusor. El distribuidor y el difusor son elementos fijos; así como el rodete está siempre presente, el distribuidor y el difusor pueden ser inexistentes en determinadas turbinas. El distribuidor es un elemento fijo el cual tiene la función de dirigir el agua desde la sección de entrada de la máquina hacia la entrada en el rodete y permite regular el agua que entra en la turbina, desde cerrar el paso totalmente, hasta lograr el caudal máximo, también es un elemento que transforma la energía de presión en energía de velocidad. El rodete es el elemento esencial de la turbina, está compuesto de álabes en los que tiene lugar el intercambio de energía entre el agua y la máquina. teniendo en cuenta que la presión varíe o no en el rodete, las turbinas se clasifican en turbinas de acción o impulsión y turbinas de reacción o sobrepresión (Fernández, 1996).

En las turbinas de acción el agua sale del distribuidor con una presión determinada, y llega al rodete con la misma presión; en estas turbinas, toda la energía potencial de la altura se transmite al rodete en forma de energía cinética. En las turbinas de reacción el agua sale del distribuidor con cierta presión que va disminuyendo a medida que el agua atraviesa los álabes del rodete, de forma que, a la salida, la presión puede ser nula o incluso negativa; en estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor y en el rodete y, por lo tanto, la energía potencial del salto se transforma, una parte, en energía cinética, y la otra, en energía de presión. En las turbinas de acción, el empuje y la acción del agua, coinciden, mientras que, en las turbinas de reacción, el empuje y la acción del agua son opuestos (Fernández, 1996).

De esta misma manera dependiendo de la dirección de entrada del flujo del agua las turbinas se pueden clasificar en turbinas axiales, radiales, tangenciales y mixtas (Fernández, 1996).

En las axiales, el agua entra paralelamente al eje; en las radiales, el agua entra perpendicularmente al eje, siendo centrífugas cuando el agua vaya de dentro hacia afuera, y centrípetas, cuando el agua vaya de afuera hacia adentro. En las mixtas se tiene una combinación de las anteriores. En las tangenciales, el agua entra lateral o tangencialmente contra las palas, cangilones o cucharas de la rueda (Fernández, 1996).

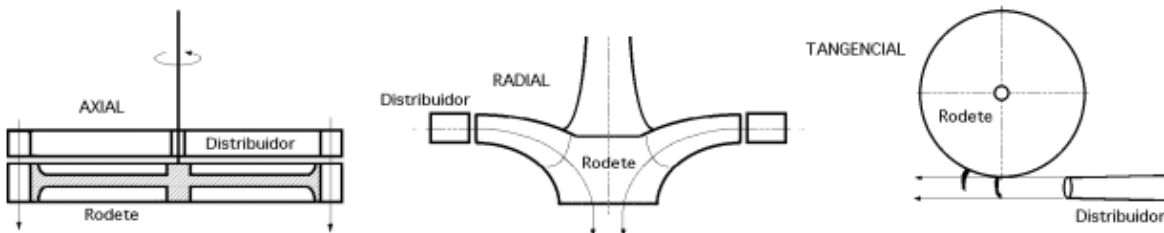


Figura 11. Clasificación de turbinas según dirección de entrada del flujo del agua.

Fuente: (Fernández, 1996)

A continuación, se muestran algunas turbinas para el aprovechamiento de energía mareomotriz.

14.3.1.1 Turbinas Pelton:

Las turbinas Pelton son conocidas por ser turbinas de presión, puesto que está es constante en la zona del rodete, de chorro libre, de impulsión o de admisión parcial por ser atacada por el agua solo una parte de la periferia del rodete, de esta manera también se encuentran dentro de la clasificación de turbinas tangenciales y turbinas de acción, son adecuadas para la extracción de energía, cuando la energía del agua está disponible a gran altura y bajo caudal (Bustamante & Arias, 2008).



Figura 12. Turbina Pelton con 4 inyectores

Fuente: (Agüera, 2011)

Las turbinas Pelton funcionan a partir de la energía potencial gravitatoria del agua embalsada, o la energía de presión, la cual prácticamente sin pérdidas se convierte en energía cinética al salir a través de inyectores de chorros libres; cuando el chorro de agua de alta velocidad inyectado a través de una boquilla golpea los alabes de la turbina induce una fuerza impulsiva, esta fuerza hace que la turbina gire, el eje giratorio hace funcionar un generador y produce electricidad. Estos chorros de agua corren a una velocidad que corresponde a la altura del embalse, y se dispone de la máxima energía cinética en el momento en que el agua incide tangencialmente sobre el rodete, empujando los álabes y obteniendo el trabajo mecánico (Bustamante & Arias, 2008).

Estas turbinas Pelton tienen los álabes con forma cóncava, como se muestra en la Figura 13, los cuales hacen cambiar la dirección del chorro de agua, saliendo por los bordes laterales ya sin energía apreciable; de este modo el chorro de agua que sale por el inyector transmite su energía cinética al rodete, en donde queda transformada instantáneamente en energía mecánica (Bustamante & Arias, 2008).



Figura 13. Álabe turbinas Pelton

Fuente: (Bustamante & Arias, 2008)

La válvula de aguja, gobernada por el regulador de velocidad, ajusta el orificio de salida para modificar el caudal de agua que fluye y así mismo mantener constante la velocidad del rodete, evitando embalamiento o reducción del número de revoluciones. De esta manera este mecanismo controla la posición de la punta de la lanza del inyector, cuando se disminuye la demanda energética, la punta de la lanza se mueve hacia adentro para disminuir el caudal del agua, mientras que, si la demanda energética aumenta, la punta de la lanza se mueve hacia afuera para aumentar el caudal. Como se muestra en la Figura 14 al lado izquierdo la punta de la lanza está hacia adentro haciendo que exista un caudal menor, en cambio la del lado derecho la punta de la lanza está hacia afuera haciendo que haya un caudal mayor. Es decir, en la turbina Pelton la sincronización entre la demanda energética y el suministro de energía se satisface controlando el caudal de agua, asegurándose que exista un equilibrio entre el suministro de energía y la demanda, y que la turbina gire a una velocidad constante (Mathew, 2013).



Figura 14. Control del caudal del agua en la turbina Pelton mediante el control de la posición de la punta de la lanza

Fuente: (Mathew, 2013)

Uno de los parámetros más importante en las turbinas Pelton es la cantidad de álabes, puesto que si el número es inadecuado esto produciría una pérdida del chorro de agua, es decir, cuando un álabe sale del

chorro de agua, es posible que el siguiente no se enganche al chorro, dando una pérdida de agua durante un pequeño periodo de tiempo y por lo tanto una disminución en la eficiencia de la turbina. En la Figura 15 se puede ver lo que sucede cuando el número de álabes es menor al adecuado, en algún punto del funcionamiento se puede perder el chorro de agua completo, como se muestra en el tercer caso de la Figura. Por lo tanto, debe existir un número adecuado de álabes para evitar que haya una pérdida de eficiencia (Mathew, 2013).

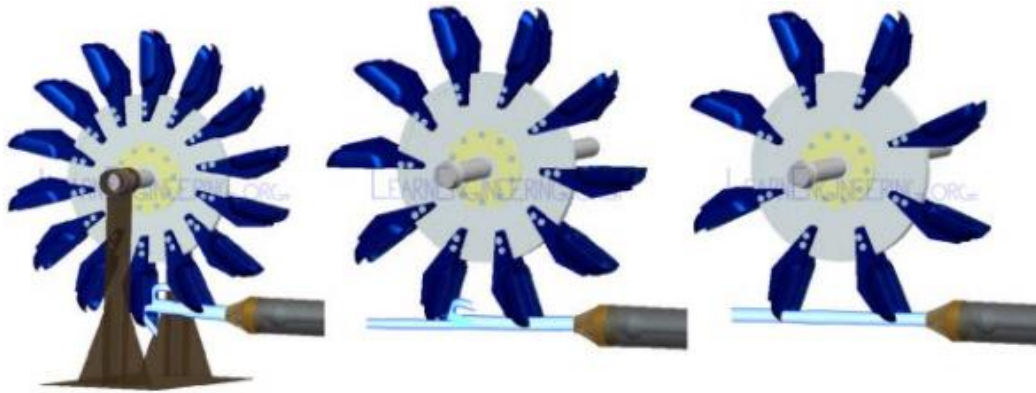


Figura 15. Efecto de número de álabes en la interacción agua-álabes
Fuente: (Mathew, 2013)

La turbina Pelton trabaja con un gran rango de altura de caída el cual se encuentra entre los 50 y 1000 metros, mientras que el caudal es bajo con un rango de 0,1 a 10 m³/s, su potencia está entre 0 a 30.000 kW (Mavel, 2015), su porcentaje de eficiencia es bueno con un 90% (Fernández, 1996); esta turbina se puede encontrar de eje horizontal y de eje vertical con un diámetro que 2,5 metros y puede tener desde 1 a 6 inyectores. La turbina Pelton se encuentra en el mercado con un costo que varía entre los 120.000 y 150.000 USD (Mavel, 2015).

14.3.1.2 Turbinas Francis:

La turbina Francis es una turbina de reacción de flujo interno, transforma energía hidráulica en energía mecánica, la cual combina flujo radial y flujo axial y puede funcionar de manera eficiente en una amplia gama de condiciones operativas, se instalan en alturas medianas y caudales bastante altos (Gallego, 2006)



Figura 16. Rodete central turbina Francis

Fuente: (Gallego, 2006)

Las turbinas Francis funcionan a partir de la altura y el caudal de agua, los cuales son los parámetros más importantes que establecen el rendimiento de esta turbina, aunque estos parámetros están sujetos a variaciones estacionales la turbina Francis tiene una alta eficiencia incluso si hay gran variación de estos (Mathew, 2018).

Esta turbina cuenta con una cámara espiral por la cual mediante el tubo de entrada ingresa el agua para proporcionar de forma constante al distribuidor, dentro de esta cámara espiral el caudal de agua se reduce, sin embargo, la disminución del área de la cámara asegura que el flujo ingrese a la región del corredor del rodete a una velocidad casi uniforme a lo largo de la periferia del canal. El flujo de agua que proviene de la cámara se encuentra a la entrada con las paletas de retención, las cuales son fijas, dirigiendo el agua a las paletas estacionarias, con el propósito de convertir una parte de la energía de presión en energía cinética y direccionar el flujo de agua hacia la sección del corredor del rodete (Mathew, 2018).

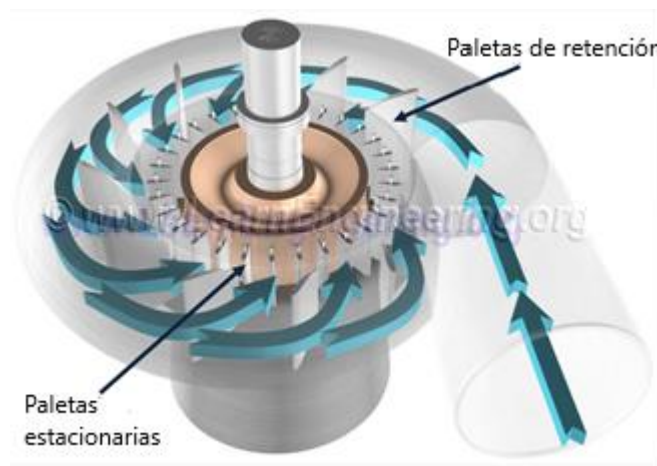


Figura 17. Conducción del flujo del agua al rodete

Fuente: (Mathew, 2018)

La parte más importante de la turbina Francis es el rodete, el cual posee una colección de palas con una forma que permite que el agua golpee y produzca fuerza de impulso antes de dejar el corredor, haciendo que tanto la fuerza de impulso como la de elevación genere movimiento en el rodete, como se puede ver en la Figura 18. En el corredor del rodete el agua se desliza sobre las palas generando una presión baja en un lado y una presión alta en otro, resultando en una fuerza de elevación, entonces la turbina Francis no es una turbina de reacción pura, una parte de la fuerza también proviene de la acción de impulso, esto quiere decir que, a medida que el agua fluye sobre las palas del corredor del rodete la energía cinética y de presión disminuye, porque el flujo del agua entra radialmente y sale axialmente, este corredor está conectado a través de un eje al generador para la producción de electricidad (Mathew, 2018).

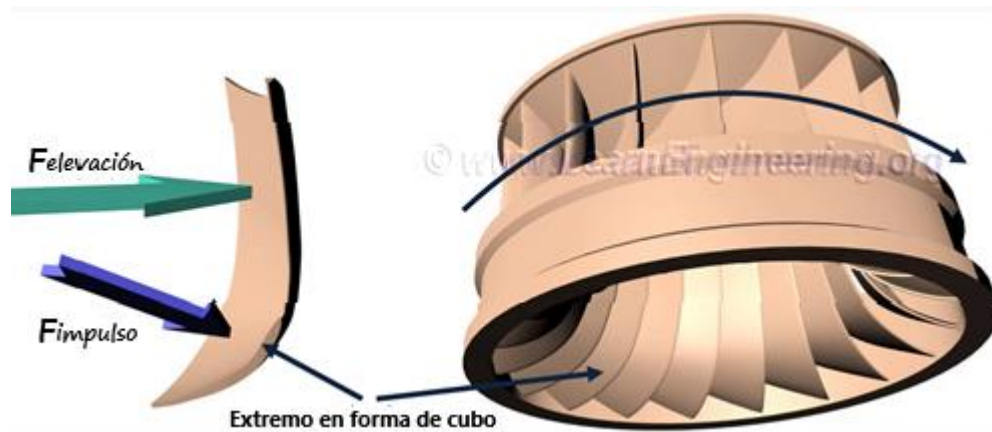


Figura 18. Fuerza de elevación y fuerza de impulso genera que el rodete gire
Fuente: (Mathew, 2018)

En la turbina Francis a partir de las paletas estacionarias se puede controlar el caudal de agua y asegura que la producción de energía esté sincronizada con la demanda energética, esto se realiza controlando el ángulo de entrada del flujo de agua a la paleta del corredor del rodete, como se puede ver en la Figura 19. Por lo tanto, las paletas estacionarias aseguran que el ángulo del flujo de entrada este en el ángulo de ataque óptimo para una máxima extracción de potencia del fluido (Mathew, 2018).



Figura 19. Flujo de entrada según ángulo de paletas
Fuente: (Mathew, 2018)

La turbina Francis trabaja con mediano rango de altura de caída el cual se encuentra entre los 15 y 300 metros, mientras que el los caudales son bastante altos con un rango de 0,5 a 35 m³/s, su potencia está entre 0 a 30.000 kW (Mavel, 2015), su porcentaje de eficiencia es bastante bueno con un 92,7% (Ortiz, 2017), esta turbina se puede encontrar de eje horizontal y de eje vertical con un diámetro que varía entre 0,4 y 2,5 metros dependiendo del diseño. La turbina Francis se encuentra en el mercado con un costo que oscila entre los 2.000 y 30.000 USD (Mavel, 2015).

14.3.1.3 Turbinas Kaplan:

La turbina Kaplan consta de un sistema de flujo axial, de reacción y de admisión total. Estas turbinas son normalmente instaladas con el eje principal de manera vertical, que a su vez puede ser dispuesto de forma horizontal o inclinada (Palma & Peña, 2018).

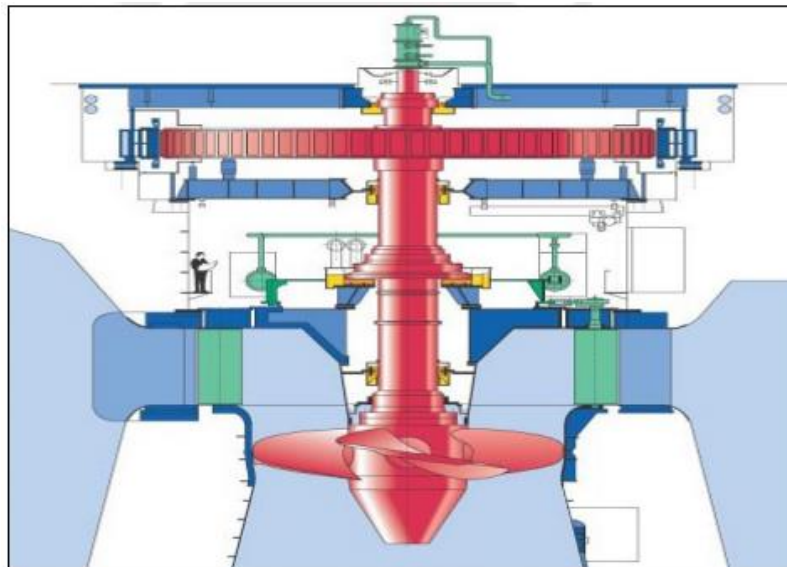


Figura 20. Turbina Kaplan.

Fuente: (Laguna, 2015)

Cuenta con un rodete que contiene álabes regulables, su función es controlar la componente tangencial de la velocidad a la entrada del rodete, en consecuencia, el fluido sale de los álabes (distribuidor) y entra a la rueda (Palma & Peña, 2018).

A medida que el fluido pasa a través del rodete, su momento angular se reduce e imparte un momento de torsión a la rueda, que a su vez impulsa el eje para producir energía. Además, posee un distribuidor radial de paletas regulables, su función es distribuir y regular o parar totalmente el caudal de agua que fluye hacia el rodete. Los elementos principales son las palas directrices, el equipo de accionamiento de las palas directrices, el anillo de distribución, las bielas y bieletas, y los equipos de engrase. Las palas

directrices del distribuidor se manejan de igual forma que las de una turbina Francis, cada una de ella de igual manera, con la facultad de poder orientarse con limites definidos para poder girar en su eje respectivo, pasando de la posición de cerrado total, encontrándose una sobre otra, a el momento de apertura máxima, quedando de esta manera en posición radial en dirección hacia el eje (Laguna, 2015).

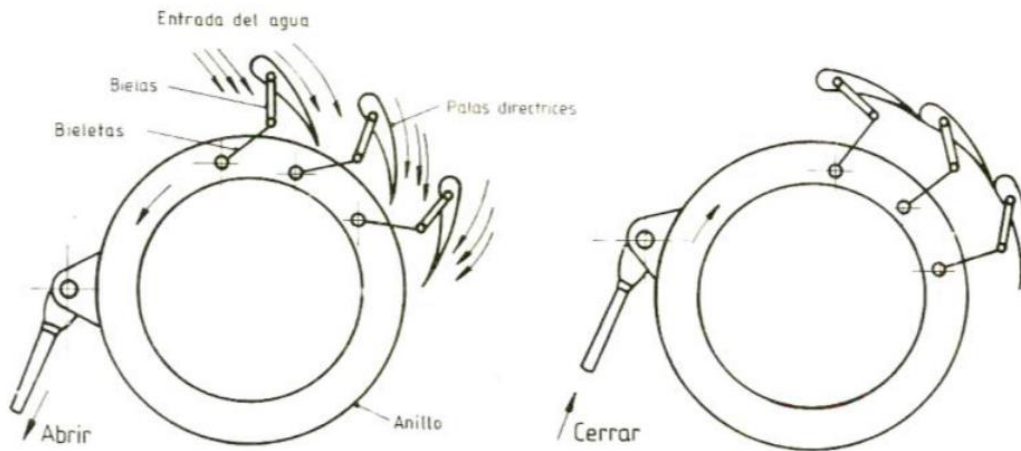


Figura 21. Posición de abierto y cerrado del anillo de una turbina Kaplan
(Laguna, 2015)

Gracias a sus álabes se puede redireccionar tanto en el rodete como en el distribuidor, se puede operar con muy buena eficiencia dentro de un rango amplio de caudales debido a su doble regulación. También se pueden encontrar turbinas Kaplan con alabes fijos o llamadas también turbinas de hélice. Cada álabe de distribución se prolonga mediante un eje, y es perpendicular al eje de giro del rodete; también cada uno choca reorientando la dirección del agua, entre lo que se encuentra el vástago, que regula la orientación del sistema y va sujeta al eje de la rueda o rodete. La fuerza generada en la pala se transmite al vástago mediante las bieletas. Las bieletas están puestas en el extremo de la palanca, y van sujetas mediante unos soportes, que a su vez va sujeto al vástago, que se desplaza de manera axial provocado una rotación simultanea del sistema (Laguna, 2015).

Este sistema está adaptado para alturas de caída medias, que pueden llegar hasta los 50 metros, en su mayoría estos se encuentran en rangos de los 1,5 a 35 metro. Además, esta turbina logra captar caudales de nivel medio capaces de llegar a los 200 m³/s. Por a las características de la turbina Kaplan logran generar potencias entre los 30 y 20.000 kW (Mavel, 2015), llegando a niveles de eficiencia de hasta el 86,5% (Laguna, 2015). Estas turbinas actualmente se encuentran en el mercado con un precio entre 50.000 y 65.0000 USD (Mavel, 2015).

A continuación, una ilustración de sistema de una turbina Kaplan:

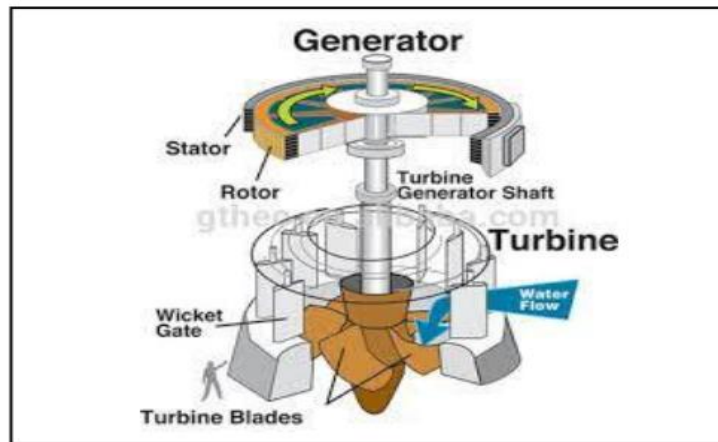


Figura 22. Turbina Kaplan y sus componentes.
Fuente: (Palma & Peña, 2018)

14.3.1.4 Turbinas Bulbo:

Esta turbina Bulbo posee un distribuidor axial junto con un rodete tipo Kaplan, pero tiene como principal característica que su generador se encuentra dentro del mismo sistema a diferencia de las turbinas Kaplan. Esto significa que se genera un ahorro de espacio al momento de realizar la obra, dado que la extensión resulta ser menor al estar diseñada de manera más compacta, además de ocasionar menor vibración del eje y en temas económicos, presentar una reducción de costos significativa (Pérez, 2015).

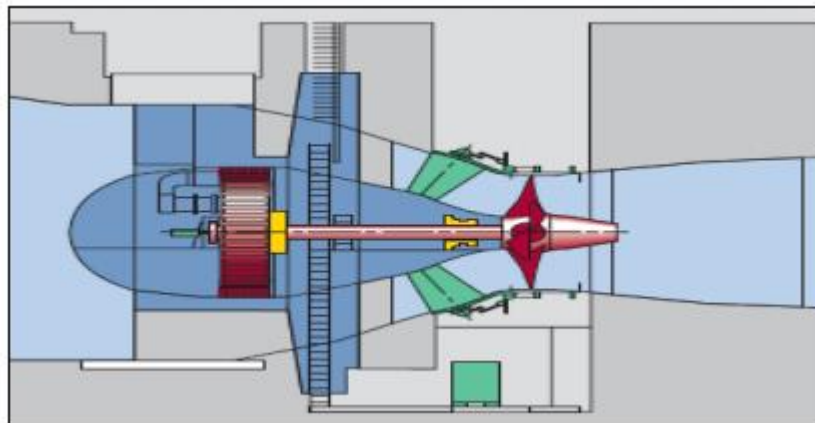


Figura 23. Turbina Bulbo.
Fuente: (Pérez, 2015)

Las turbinas Bulbo son de flujo axial y puede tener palas orientables como las de una turbina Kaplan. En cuanto al bulbo, que es una cámara blindada, es capaz de asociar un sistema de transmisión por engranajes, encargado de transmitir el movimiento del eje del rotor al generador. Modelos actuales cuentan con este sistema instalado dentro del mismo bulbo, que además pueden disponer del eje ya sea de manera horizontal o inclinado (Dagá, 2008).

Al ser de flujo axial posee una mejor distribución de velocidades, permitiendo un aumento de caudal específico y de la potencia específica, lo que significa que, teniendo un rotor con un diámetro reducido, podrá alcanzar el mismo nivel de potencia. Esto a su vez logra la disminución de pérdidas de carga, tanto en la entrada como a la salida, reflejado en un aumento del rendimiento. Esto sin duda mejora las condiciones del diseño de estas turbinas, lo que implica una disminución de costo de la obra civil y un generador más económico (Dagá, 2008).

Las turbinas Bulbos funcionan con un salto que va entre 0,5 y 15 metros y un caudal entre 1 y 45 m³/s. En cuanto a su rango de potencial, este va desde los 50 hasta los 3000 kW. Actualmente las turbinas Bulbo se encuentran en el mercado con un valor entre 50.000 y 60.000 USD (Mavel, 2015).

Diversos estudios demuestran que las pérdidas de carga de entrada y salida son las más significativas, las cuales se dan en momentos de potencias específicas elevadas. Las turbinas Bulbo, así como los grupos Bulbo, logran conseguir mediante conductos hidráulicos simples reducir dichas pérdidas, aumentando la potencia específica con alturas de caída establecidas. Por esta razón, la turbina requiere de un diámetro menor para la misma potencia, que a su vez, en situaciones de saltos menores, estas obtendrán una mayor eficiencia. En la figura 24 se compara un equipo Kaplan proyectado para la central La Rance con el grupo Bulbo utilizado finalmente para esta planta (Dagá, 2008).

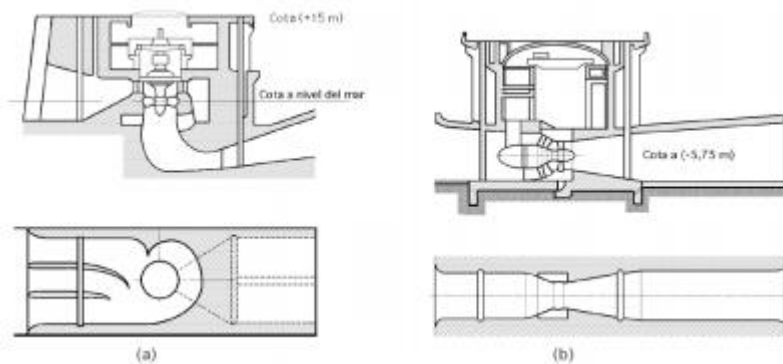


Figura 24. Comparación equipo Kaplan con el grupo Bulbo.

Fuente: (Dagá, 2008).

Las turbinas Kaplan y Bulbo presentan pérdidas de carga similares en los conductos, pero las dimensiones de estos conductos para las turbinas Bulbo aguas arriba son menores que las de las turbinas Kaplan. Los diseños de las turbinas Bulbo pueden ser determinados siguiendo los mismos parámetros de resultados de explotación de potencial que las Kaplan, teniendo en cuenta la reducción de tamaño del diámetro de la turbina, con los mismos esquemas de seguridad. En la figura 25 se muestra una foto del grupo Bulbo usado en la central mareomotriz La Rance (Dagá, 2008).



Figura 25. Esquema central mareomotriz La Rance.

Fuente: (Dagá, 2008).

Además, como se muestra en la Figura 26, la instalación de una turbina del grupo Bulbo en un dique específico.

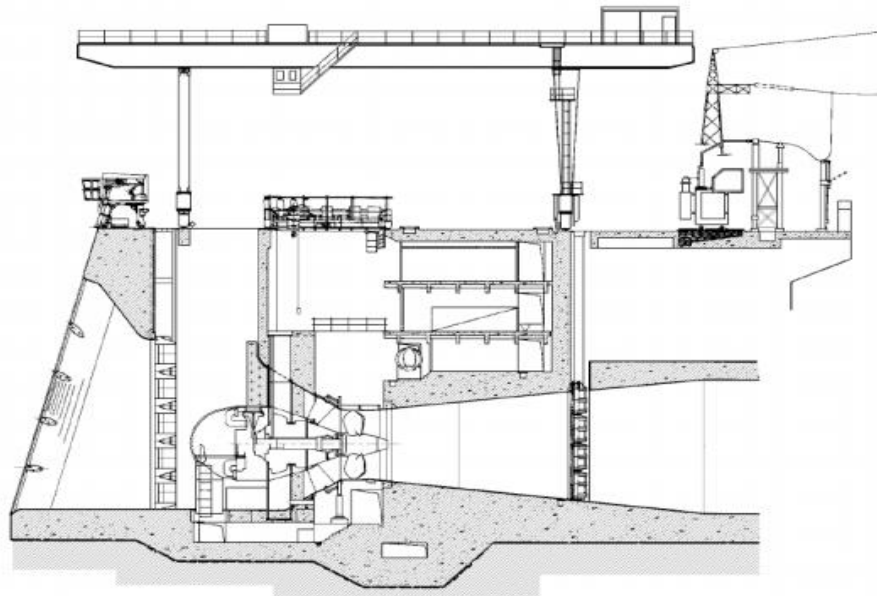


Figura 26. Turbina Bulbo en dique.

Fuente: (Dagá, 2008).

14.3.2 Diagnóstico de alternativas:

Teniendo en cuenta las turbinas anteriormente mencionadas como las más frecuentes al momento de realizar proyectos hidráulicos, enfocados en este caso para centrales mareomotrices, se opta por hacer un diagnóstico de alternativas dirigido a las características funcionales de las turbinas, en donde se evalúan aspectos clave de cada una de las ellas; características las cuales inciden directamente en el

aprovechamiento de la energía mareomotriz en la zona de la Bocana del Río Baudó en el municipio de Pizarro, Bajo Baudó.

Los parámetros por comparar para cada una de las turbinas son la potencia, el diámetro, el área, la diferencia altura de caída del agua, caudal, eficiencia y costo de la turbina; de esta manera, mediante una ponderación con valores de bajo, medio y alto, se dará calificación a cada uno de los parámetros escogidos para las turbinas, con el fin de determinar cuál de ellas será la más adecuada para el estudio de caso.

Los valores de los parámetros de cada una de las turbinas se pueden ver en la Tabla 16.

Tabla 16. Valores de parámetros para cada turbina

| Turbina | Potencia (kW) | Diámetro (m) | Área (m ²) | Altura de caída (m) | Caudal (m ³ /s) | Eficiencia (%) | Costo de la turbina (USD \$) |
|---------|---------------|--------------|------------------------|---------------------|----------------------------|----------------|------------------------------|
| Pelton | 0 - 30.000 | 2,5 | 7,85 | 50-1000 | 0,1 - 10 | 90 | 120.000- 150.000 |
| Francis | 0- 30.000 | 0,4- 2,5 | 1,26- 7,85 | 15- 300 | 0,5- 35 | 92,7 | 2.000- 30.000 |
| Kaplan | 30- 20.000 | 0,55- 5,5 | 1,73- 17,28 | 1,5- 35 | 0,9- 200 | 86,5 | 50.000-65.000 |
| Bulbo | 50- 30.000 | 1-2,5 | 3,14- 7,85 | 0,5- 15 | 1- 45 | 86 | 50.000-60.000 |

(Autores, 2020)

La ponderación se realizó a partir de los siguientes valores de la Tabla 17.

Tabla 17. Ponderación

| Estándar | Valor |
|----------|-------|
| Alto | 5 |
| Medio | 3 |
| Bajo | 1 |

(Autores, 2020)

A continuación, en la Tabla 18 se evidencia el resultado de la calificación para las turbinas, teniendo en cuenta la ponderación dada a cada uno de los parámetros mencionados.

Tabla 18. Calificación parámetros para diagnóstico de alternativas

| Turbina | Potencia | Diámetro | Área | Altura de caída | Caudal | Eficiencia | Costo de la turbina | Total |
|---------|----------|----------|------|-----------------|--------|------------|---------------------|-------|
| Pelton | 5 | 3 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 17 |
| Francis | 5 | 3 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 29 |
| Kaplan | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 33 |
| Bulbo | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 35 |

(Autores, 2020)

El resultado obtenido en el diagnóstico de alternativas posiciona a la turbina tipo Bulbo como la mejor alternativa para el desarrollo del estudio actual, esto principalmente a que sus parámetros cuentan con una amplia flexibilidad al momento de considerar las condiciones en donde esta será puesta en marcha. También, hay que tener en cuenta que, por a su característica de entrada axial del fluido, logra un aprovechamiento de alturas de caída de niveles bajos, los cuales son frecuentes para los casos de centrales mareomotrices (Fernández, s.f.).

Sumado a los parámetros ya calificados, es importante mencionar que estas turbinas presentan una mejor distribución de velocidades del agua sobre las palas, que a su vez genera un aumento del caudal específico lo que generará un aumento en la potencia específica generada, incrementado el rendimiento de esta, reflejado también en la disminución de las pérdidas de carga al momento de la entrada (Aguilar, 2014).

A su vez, esta turbina de flujo axial que es muy similar a las turbinas Kaplan, segunda en calificación en el diagnóstico de alternativas. La turbina Bulbo cuenta con una diferencia en diseño, ya que posee mejor distribución del perfil de velocidad, lo que disminuye el diámetro del rotor, ocupando menos espacio en la ubicación del dique o embalse donde será instalada la turbina, lo que significa una reducción de la obra civil y por lo tanto una disminución de los costos de obra (Maldonado & Oñate, 2017)

Es importante mencionar que a nivel mundial, las centrales mareomotrices cuentan con el apoyo de turbinas tipo Bulbo para la generación de energía eléctrica, centrales como La Rance en Francia, que es la central mareomotriz más antigua del mundo, por lo tanto la primera en implementar este tipo de turbinas, con 24 de ellas, cada una con una potencia de 10 MW, la planta de energía mareomotriz Sihwa Lake, en Corea del Sur con la presencia de 10 turbinas Bulbo sumergidas de 25,4 MW, siendo esta la más grande del mundo (Fernández, s.f.).

16. Conclusiones

En la zona de la Bocana del Río Baudó puesto que existe una diferencia de alturas de marea de 3,16 metros se encuentra un potencial energético mareomotriz de 556,92 kWh-día/ha, lo cual nos indica que es un potencial suficiente para la generación de energía del municipio de Pizarro teniendo en cuenta que la demanda energética que presenta esta comunidad es de 5.757 kWh-día. De esta manera y considerando

el potencial, es necesario establecer un área mínima de embalse de 10,34 ha, el cual lograría satisfacer el 100% de la demanda existente para la cabecera municipal del municipio del Bajo Baudó. Así mismo, es importante destacar que para dicho aprovechamiento es fundamental tener en cuenta por medio de qué turbina se realizará la transformación de este potencial, en este caso, y como se encuentran en la mayoría de centrales mareomotrices en el mundo, las turbinas Bulbo y toda su obra civil resultan ser las más indicadas para el aprovechamiento de este potencial mareomotriz, gracias a sus características de funcionamiento, las cuales llegan a tener un mayor rendimiento, generando menos pérdidas en el proceso de generación de energía eléctrica.

Lo anterior se determinó mediante el planteamiento metodológico el cual a partir de un método deductivo permitió tener una visión general hasta la obtención de datos precisos de las dinámicas de mareas y de las características ecosistémicas de la zona de estudio, de esta forma por medio de un enfoque cuantitativo lograr realizar un análisis del potencial mareomotriz de la Bocana del Río Baudó con un orientación en el cubrimiento de la demanda energética del municipio de Pizarro; de esta misma manera a través de un método inductivo y la técnica de diagnóstico de alternativas se determinó la turbina más adecuada considerando las características de funcionalidad de esta misma.

De acuerdo a los cálculos realizados para la estimación del potencial energético mareomotriz se puede concluir que esta zona tiene un potencial que se encuentra dentro de los potenciales óptimos que hay en la costa Pacífica colombiana, como se pudo observar a lo largo de la discusión, siendo este capaz de cubrir la demanda de un municipio pequeño como lo es Pizarro y teniendo en cuenta el área del embalse establecida, además es importante mencionar que para lograr incremento de la generación de energía, claramente las dimensiones del proyecto deberán aumentar, implicando de esta manera mayores costos, así como un impacto ambiental mayor.

Una vez determinado que la demanda energética acumulada es de 172.710,7 kWh-mes se puede concluir que el consumo energético se basa principalmente en las actividades residenciales que se tienen en el municipio, debido que al ser un municipio con condiciones socioeconómicas bajas y sin alta conectividad no se presentan grandes actividades económicas que representen un incremento significativo en el consumo de energía eléctrica.

Gracias al diagnóstico de alternativas realizado, el cual tuvo en cuenta características funcionales de las turbinas, se llega a la conclusión que las turbinas Bulbo son las más adecuadas para la aplicabilidad de un proyecto mareomotriz, puesto que el rendimiento de estas en comparación a turbinas similares es mayor, consta de una mejor distribución de sus componentes, proporcionando una reducción a las dimensiones de la obra, significando una menor inversión de materiales, y de esta manera al ser mucho más compacta refleja pérdidas menores al resto de las turbinas y por lo tanto una mayor eficiencia. Sin embargo, como en Colombia no se han llevado a cabo este tipo de proyectos, no se tiene claro cuál es la mejor alternativa para aplicar, aunque las turbinas Bulbo son las más adecuadas para incursionar en este campo de la energía mareomotriz ya que sus características permiten su adaptabilidad a proyecto de escalas pequeñas y medianas sin alterar su rendimiento.

De esta manera se puede concluir que este proyecto logra incentivar la exploración de los campos de las energías renovables desde el ámbito de un ingeniero ambiental aportando nuevos métodos de generación

de energía y así mismo promoviendo el desarrollo de nuevos estudios para generar alternativas a los sistemas convencionales ya implementados y a la sostenibilidad de Colombia.

17. Recomendaciones

Para la implementación del proyecto es indispensable generar una evaluación de impacto ambiental, en donde se evalúan diferentes parámetros y condiciones ecosistémicas de la zona de estudio que se pueden ver afectadas significativamente.

De esta misma forma, para la implementación se deben realizar estudios de las condiciones de la zona los cuales deben ser en primera instancia un estudio topográfico del lugar donde se proyecta la construcción de la central mareomotriz, esto para establecer la diferencia del nivel de marea de los posibles puntos de captación de agua, un reconocimiento general de accidentes geográficos y fuertes pendientes.

Siguiente a esto, es importante evaluar las condiciones geológicas, geotécnicas y mecánicas del suelo para caracterizar el terreno que soportará la estructura del proyecto, la capacidad de soporte del fondo marino y de esta manera evaluar la pertinencia de la instalación de la central mareomotriz en estos suelos.

Asimismo, es necesario resaltar que como este municipio se rige bajo normas del Consejo Comunitario Pizarro, en la resolución 1122 de 2001 se aclara que deben velar por la protección de su entorno, siendo necesario establecer diálogos previos con la comunidad para el inicio de un estudio de aplicabilidad, teniendo consentimiento anticipado, así como aceptabilidad para la promoción y ejecución de este tipo de proyectos en el municipio.

Es necesario realizar un estudio cultural del comportamiento de la comunidad al implementar un proyecto de energía mareomotriz, ya que esto tiene influencia directa en actividades pesqueras cambiando las dinámicas de pesca artesanal que posee el municipio.

Además, es necesario contemplar el comportamiento de la maquinaria de la central mareomotriz en relación con los factores externos propios del clima, como lo es la humedad, los cuales pueden alterar el rendimiento y funcionamiento de estos equipos.

18. Referencias Bibliográficas.

Agüera, J. (2011). *Turbinas Hidráulicas*. Recuperado de <http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/fluidos%2013.pdf>

Aguilar, J. (2014). *Alternativas del aprovechamiento de la energía mecánica de las olas marinas*. (Trabajo de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0791_M.pdf

- Alcaldía Municipal de Nuquí en Chocó. (2020). *Nuestro Municipio*. Recuperado de <http://www.nuqui-choco.gov.co/municipio/nuestro-municipio-532753>
- Alcaldía Municipal de Bajo Baudó en Chocó. (2019). *Nuestro Municipio*. Recuperado de <http://www.bajobaudo-choco.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Alianza del Pacífico. (2020). *Abecé Alianza del Pacífico*. Recuperado de <http://www.tlc.gov.co/TLC/media/media-TLC/Documentos/alianza.pdf>
- Asamblea departamental del Chocó. (2016). *Plan de desarrollo departamental del chocó “oportunidades para todas las subregiones”*. Recuperado de https://choco.micolombiadigital.gov.co/sites/choco/content/files/000112/5592_bases-del-plan-de-desarrollo-departamental-del-choco-20162019.pdf
- Banco de la República. (2011). *Informe de Coyuntura Económica Regional 2010*. Bogotá: Banco de la República. Recuperado de https://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/2010_7.pdf
- Blanco, E. (2012). *Estimación de la potencia eléctrica teórica disponible en Río Copinula, Jujutla, Ahuachapán*. ING-NOVACIÓN, 33-50. Recuperado de <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1971/1/2-estimacion-de-la-potencia-electrica-teorica-disponible-en-rio-copinula-jujutla-ahuachapan.pdf>
- Bustamante, E., & Arias, C. (2008). *Diseño y construcción de una turbina Pelton para generación eléctrica, capacidad 2 kW*. (Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador). Recuperado de <http://kimerius.com/app/download/5780662673/Dise%C3%B1o+y+construcci%C3%B3n+de+una+turbina+Pelton.pdf>
- Bustos Flores, Carlos, & Chacón Parra, Galia B. (2009). El desarrollo sostenible y la agenda 21. *Telos*, 11(2), 164-181. [fecha de Consulta 7 de Noviembre de 2020]. ISSN: 1317-0570. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=993/99312517003>
- Chaparro, E. (2010). *Generación de energía mareomotriz en la Argentina*. (Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Buenos Aires). Recuperado de <https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/972/Central%20Mareomotriz-%20Emiliano%20Chaparro-%2044053-%20Jul%202010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Comisión Colombiana del Oceano. (2015). *Nosotros: La comisión*. Recuperado de <http://www.cco.gov.co/cco/nosotros/la-comision.html>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (29 de diciembre de 1992). *Reestructura el Ministerio de Minas y Energía, el Instituto de Asuntos Nucleares, IAN y Minerales de Colombia S.A., MINERALCO. [Decreto 2119 de 1992]*. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=66802>

- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2017). *Funciones*. Recuperado de <https://www.creg.gov.co/creg/quienes-somos/funciones>
- Comisión de regulación de energía y gas. (9 de enero de 2018). *Por la cual se regulan las actividades de generación distribuida y autogeneración a pequeña y gran escala en las zonas no interconectadas. [Resolución 038 de 2018]*. Recuperado de [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/45b787cc99da0fef05258219007354e8/\\$FILE/Creg001-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/45b787cc99da0fef05258219007354e8/$FILE/Creg001-2018.pdf)
- Comisión Permanente del Pacífico Sur. (21 de septiembre de 1989). *Protocolo para la conservación y administracion de las áreas marinas y costeras protegidas del Pacífico sudeste*. Recuperado de https://www.dimar.mil.co/sites/default/files/informes/texto_del_protocolo_2-areas_marinas_protegidas.pdf
- Comisión Permanente del Pacífico Sur. (2020). *Visión*. Recuperado de <http://www.cpps-int.org/index.php/component/content/article/70-cuenca-del-pacifico-promocion-y-proteccion-de-los-intereses-economicos.html>
- Congreso de Colombia. (22 de diciembre de 1993). *Ley General Ambiental de Colombia*. [Ley 99 del 1993]. DO: 41.146. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html.
- Congreso de Colombia. (11 de julio de 1994). *De la planeación y la expansión. [Ley 143 de 1994]*. DO: 41.434. Recuperado de https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/667537/Ley_143_1994.pdf/c2cfbda4-fe12-470e-9d30-67286b9ad17e#:~:text=41.434%2C%20de%2012%20de%20julio,otras%20disposiciones%20en%20materia%20energ%C3%A9tica.
- Congreso de Colombia. (3 de octubre de 2001). *Uso racional y eficiente de la energía. [Ley 697 de 2001]*. DO: 44.573. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0697_2001.html
- Congreso de Colombia. (27 de junio de 2014). *Acuerdo Marco de la Alianza del Pacífico. [Ley 1721 de 2015]*. DO: 49.195. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1721_2014.html
- Congreso de Colombia. (13 de mayo de 2014). *Ley de integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. [Ley 1715 de 2014]*. DO: 49.150. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html
- Congreso de la República. (27 de diciembre de 2006). *Expiden normas sobre normalización de redes eléctricas y de subsidios para estratos 1 y 2. [Ley 1117 de 2006]*. DO: 46.494. Recuperado de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1117_2006.html

- Consejo Municipal de Nuquí. (2020). *Plan de Desarrollo Territorial "Somos el cambio" 2020- 2023* . Recuperado de https://nuquichoco.micolombiadigital.gov.co/sites/nuquichoco/content/files/000271/13505_plan-de-desarrollo-municipio-de-nuqui-somos-el-cambio-2020--2023f.pdf
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, & Departamento Nacional de Planeación. (2006). *Esquemas de Gestión para la Prestación del Servicio de Energía. [CONPES 3453]*. Recuperado de <http://www.upme.gov.co/zni/portals/0/resoluciones/conpes3453.pdf>
- Constitución Política de Colombia [Const.]. (1991). *Artículo 101* [Titulo III]. Recuperado de <https://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>
- Córdoba , L., Hinojosa, M., Palomeque, A., & Hinestroza, L. (2017). *Derecho de autonomía de los consejos comunitarios de comunidades negras del departamento del chocó: límites y retos*. *Ambiente Jurídico* N° 21: pp. 41-65. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7257725.pdf>.
- Dagá, J. (2008). *Aprovechamiento hidroeléctrico de las mareas y su posible desarrollo en Chile*. (Tesis de grado, Universidad de Chile). Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103061/daga_jk.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Departamento Administrativo de la Presidencia de La República. (2 de septiembre de 2014). *Estructura del Departamento Administrativo de la Presidencia de la República. [Ley 1649 de 2014]*. DO: 49.262. Recuperado de <http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1325865>
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (27 de septiembre de 2011). *Objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [Decreto 3570 de 2011]*. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/mision-y-vision>
- Departamento Nacional de Planeación. (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2018- 2022 "Pacto por Colombia, pacto por la equidad"*. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Resumen-PND2018-2022-final.pdf>
- Dirección General Marítima. (27 de febrero de 2018). *Reglamento Marítimo Colombiano (REMAC) [Resolución 135 del 2018]*. Recuperado de https://www.dimar.mil.co/sites/default/files/informes/resolucion_numero_0135.pdf

- Dirección General Marítima. (20 de octubre de 2020). *¿Qué es Dimar ?- Misión y Visión*. Recuperado de <https://www.dimar.mil.co/que-es-dimar-mision-y-vision>
- Fernández, P. (1996). *Turbinas Hidráulicas*. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria, España. Recuperado de http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf
- Fernández, P. (s.f). *Corrientes fluviales*. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria, España. Recuperado de http://rsm1.redsauce.net/js/pdfjs/web/viewer.html?file=http%3A%2F%2Frsm1.redsauce.net%2FAppController%2Fcommands_RSM%2Fapi%2Fapi_getFile.php%3FitemId%3D73%26propertyID%3D20%26RToken%3D59e8ac1045d03e2ff6564c0638315f38
- Gallego, J. (2006). *Caracterización de una turbina del tipo Francis utilizada por una empresa local de generación de energía*. (Tesis de grado, Universidad EAFIT). Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/47245281.pdf>
- Gómez Montaña, L. A., & Burgos Ramírez, W. Y. (2008). *Actualización del inventario de posibilidades de generación de energía mareomotriz en Colombia*. (Trabajo de Grado, Universidad de La Salle). Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/69
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hiriart, G. (2009). *Potencial energético del Alto Golfo de California*. Sociedad Geológica Mexicana pp. 143-146 . Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v61n1/v61n1a14.pdf>
- IDEAM. (2014). *Pronóstico de Pleamares y Bajamares Costa Pacífica Colombiana 2015*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/137239/CARTILLA+PACIFICO+2014.pdf/0ef952b0-c811-448b-8532-1d89f944ef0d?version=1.0>
- IDEAM. (2015). *Pronóstico de Pleamares y Bajamares Costa Pacífica Colombiana 2016*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/137239/CARTILLA+PACIFICO+2016.pdf/e2c70f85-94b6-4a08-96af-fc21dd5022fe?version=1.0>
- IDEAM. (2016). *Pronóstico de Pleamares y Bajamares Costa Pacífica Colombiana 2017*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/137239/CARTILLA+PACIFICO+2017.pdf/7041467a-0b26-4ff8-8bad-cb42d38328e6?version=1.0>

- IDEAM. (2017). *Pronóstico de Pleamares y Bajamares Costa Pacífica Colombiana 2018*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/137239/CARTILLA+PACIFICO+2018/3dd1d568-32b0-4646-8c9e-4f83ee4975bd?version=1.3>
- IDEAM. (2018). *Pronóstico de Pleamares y Bajamares Costa Pacífica Colombiana 2019*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/137239/CARTILLA+PACIFICO+2019.pdf/cfedfd-e1-171e-4b31-aa92-c7cad3ae444b?version=1.1>
- IDEAM. (2019). *Pronóstico de Pleamares y Bajamares Costa Pacífica Colombiana 2020*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/137239/CARTILLA+PACIFICO+2020/882b155a-eafa-4380-8abe-33857240e8be?version=1.1>
- Instituto Colombiano de la Reforma Agraria. (16 de mayo de 2001). *Se adjudican en calidad de “Tierras de las comunidades negras”, los terrenos baldíos ocupados colectivamente por la Comunidad Negra, organizada en el Consejo Comunitario de Pizarro.[Resolución 1122 de 2001]*.
- Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. (28 de Agosto de 2020). *¿Quiénes somos?*. Recuperado de <http://www.ipse.gov.co/ipse/quienes-somos>
- Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. (2020). *Informe mensual de telemetría de junio*. Recuperado de http://190.216.196.84/cnm/Data/info_operacion/2020/06-InfomemensualJunio2020.rar
- Iragorri, A. (2016). *Memorias Congreso de la República 2015-2016*. Recuperado de https://www.minagricultura.gov.co/planeacion-control-gestion/Gestin/MEMORIAS%20AL%20CONGRESO%20DE%20LA%20REPUBLICA/Memorias_al_Congreso_de_la_Republica_2015_2016.pdf
- Laguna, R. (2015). *Diseño de turbina Kaplan mediante Dinámica de Fluidos Computacional*. (Trabajo de grado, Universidad de Sevilla). Recuperado de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5561/fichero/memoria_def.pdf
- López, J., Hiriart, G., & Silva, R. (2010). *Cuantificación de energía de una planta mareomotriz*. Investigación y Tecnología, 133-245. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/404/40412515009.pdf>

- Maldonado, S. & Oñate, W. (2017). *Diseño y construcción de un dique mareomotriz didáctico y modelación del ducto de turbina*. (Trabajo de titulación previo a la obtención del título de magíster en eficiencia energética, Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17526/1/CD-8031.pdf>
- Mathew, S. (21 de Agosto de 2013). *Pelton turbine - working and design aspect*. Recuperado de <https://learnengineering.org/pelton-turbine-wheel-hydraulic-turbine.html>
- Mathew, S. (2018). *How does Francis Turbine work ?* Recuperado de <https://learnengineering.org/how-does-francis-turbine-work.html>
- Mavel. (2015). *Tecnología de turbinas hidráulicas*. Recuperado de http://mavel.cz/wp-content/uploads/2015/11/Brochure_2015_Spanish_OnLine.pdf
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016). *Informe de rendición de cuentas 2015-2016*. Recuperado de <https://www.minagricultura.gov.co/InformeRendCuentas2016/RENDICION%20DE%20CUENTAS%20-%20INFORME%202015-2016-julio%2001.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Recuperado de <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Decreto-Ley-2811-de-1974.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (28 de diciembre de 2018). *Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. [Ley 2462 de 2018]*. DO: 50.820. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=90146>
- Ministerio de Interior. (27 de agosto de 1993). *Por la cual se desarrolla el artículo transitorio 55 de la Constitución Política [LEY 70 DE 1993]*. Recuperado de <https://www.mininterior.gov.co/la-institucion/normatividad/ley-70-de-1993-agosto-27-por-la-cual-se-desarrolla-el-articulo-transitorio-55-de-la-constitucion-politica>
- Ministerio de Minas y Energía. (29 de junio de 1999). *Se transforma el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, ICEL, en el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas [Decreto 1140 de 1999]*. Recuperado de <http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?id=1890846>
- Ministerio de Minas y Energía. (16 de septiembre de 2017). *Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía. [Ley 1543 de 2017]*. DO: 50.358. Recuperado de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=83537

- Ministerio de Minas y Energía. (2020). *Misión y visión*. Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co/mision-y-vision>
- Morales, R. (2011). Evaluación del potencial mareomotriz en la bahía de Tumaco. Recuperado de: <http://www.cccp.org.co/index.php/component/content/article/188-energias-alternativas/700-evaluacion-del-potencial-mareomotriz-en-la-bahia-de-tumaco>
- Moreno, C. (3 de Julio de 2019). *Racionamiento energético de 1:00 am a 7:00 am*. Recuperado de <http://www.bajobaudochoco.gov.co/noticias/comunicado-a-la-opinion-publica-la-empresa-de-energia>
- Naciones Unidas. (2014). *Derecho del Mar*. [Boletín No. 83]. Recuperado de https://www.un.org/depts/los/doalos_publications/LOSBulletins/bulletinsp/bul83sp.pdf
- Ortiz, C. (2017). *Comparación del Desempeño de una Turbina Francis y una Turbina de Flujo Cruzado*. (tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín). Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/64928/1/1026148557.2018.pdf>
- Palma, D. & Peña, C. (2018). *Diseño de una turbina tipo Kaplan para la generación de energía hidráulica*. (Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia). Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22838/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20-%20DISE%20C3%91O%20DE%20TURBINA%20KAPLAN.pdf>
- Pereira, M. (2015). *Las energías renovables: ¿Es posible hablar de un derecho energético ambiental? Elementos para una discusión*. *Jurídicas CUC*, 11(1), 233-254.
- Pérez, P. (2011). *Grupo de generación Kaplan tubular para 3.0 Kw de capacidad*. (Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/385>
- Polo M., Rodríguez J., Sarmiento A. (2009). *Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes inducidas por mareas*. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a14.pdf>
- Quintero, J., & Quintero, E. (2015). *Energía mareomotriz: potencial energético y medio ambiente*. *Gestión y ambiente*, 18(2), 121-134. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/65492/1/46511-278712-1-PB.pdf>
- Reyna, J., Morales, A., Cantera, J., Ángel, E., Cabrales, E., Lozano, A., Montealegre, J., Ramírez, A., Rojas, O., Pardo, Z. (2013). *El Océano Maravilla Terrestre*. Secretaría Ejecutiva Comisión Colombiana del Océano. Recuperado de http://www.cco.gov.co/docs/publicaciones/libro_oceano_maravilla_terrestre.pdf

- Sandoval, J., & Liévano, J. (2012). *Colombia, 20 años siguiendo la Agenda 21*. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/asuntos-internacionales/pdf/colombia-20-a%C3%B1os-siguiendo-la-agenda-21/040512_balance_agenda_21.pdf
- Sistema de Información Ambiental de Colombia. (13 de Agosto de 2019). *Visor Geográfico SIAC*. Recuperado de <http://sig.anla.gov.co:8083/>
- Steer, R., Arias-Isaza F., Ramos A., Sierra-Correa P., Alonso D., Ocampo P. (1997). *Documento base para la elaboración de la “Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas”*. Documento de consultoría para el Ministerio del Medio Ambiente. Recuperrado de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/947PoliticaZonasCosterasA.pdf>
- Superintendencia delegada para Energía y Gas. (2018). *Zonas no interconectadas -ZNI diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2018*. Recuperado de https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/diag_zni_2018_7122018.pdf
- Superservicios (2017). Zonas No Interconectadas- ZNI Diagnostico de la presentación del servicio de energía eléctrica 2017 Recuperado de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Sep/diagnosticozni-superservicios-oct-2017.pdf>
- Torres Parra, R. R., & Andrade Amaya, C. A. (2006). Potencial en Colombia para el aprovechamiento de la energía no convencional de los océanos. *Boletín Científico CIOH*, (24), 11-25.
- Unidad de Planeación Minero energetica. (2017). *Acciones para la transformación del sector electrico colombiano*. Recuperado de https://www.upme.gov.co/Memorias_Seminarios_sp/Taller_microrredes_ZNI/resultados_taller.pdf
- Velandia, M., Scheel, M., Puentes, C., Durán, D., Osorio, P., Delgado, P., Díaz, J. (2019). *El Atlas Marino-Costero del Bajo Baudó, Colombia*. Recuperado de http://marviva.net/sites/default/files/documentos/atlas2019_web2.pdf

19. Anexos

19.1 Anexo 1. Cronograma

19.1.1 Cronograma primera fase (agosto-noviembre 2019):

| Objetivo General | Actividades para cumplir objetivo | Agosto | Septiembr | Octubre | Novie | |
|---|---|--------|-----------|---------|-------|---|
| Analizar el potencial energético de las mareas para la generación de energía eléctrica: Estudio de caso: Bocana del río Baudó en el | Determinar tema de la investigación | ■ | | | | |
| | Determinar zona de estudio | | ■ | | | |
| | Determinar problemática de la zona de estudio | | ■ | | | |
| | Planteamiento de objetivo general y objetivos específicos | | ■ | | | |
| | Determinar justificación de la investigación | | ■ | ■ | | |
| | Plantear pregunta de investigación | | | ■ | | |
| | Realización de apartado de marco de referencia | | | ■ | ■ | |
| | Reconocimiento de dinámicas económicas, sociales y ecológicas de la zona de estudio | | | | ■ | ■ |
| | Planteamiento del modelo metodológico a utilizar | | | | | ■ |

| | |
|--------------|---|
| Realizado | ■ |
| En proceso | ■ |
| Por realizar | ■ |

(Autores, 2020)

19.1.2 Cronograma segunda fase (febrero- septiembre 2020):

| Objetivo general | Objetivos específicos | Actividades | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | |
|---|---|--|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|---|
| Analizar el potencial energético de las mareas para la generación de energía eléctrica: Estudio de caso: Bocana del río Baudó en el | Estimar el potencial energético mareomotriz de la zona de la Bocana del Río Baudó | pronósticos de pleamar y bajamar en la zona de estudio | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | | Realizar promedios de valores máximos y mínimos de marea | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | | Realizar cálculos de estimación de potencial energético a partir de promedio de datos recopilados. | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| | | Analizar del potencial energético de la zona de estudio en comparación con zonas similares | | | | | | | | | ■ | ■ |
| | Determinar la demanda energética del municipio de Pizarro en el Bajo Baudó. | Recopilar datos de consumo de energía en determinado tiempo en el municipio de Pizarro (Kwh/mes) | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| | | Determinación de la demanda energética del municipio de Pizarro | | | | ■ | | | ■ | | | |
| | | Análisis de potencial energético y demanda del municipio | | | | | | | | | ■ | ■ |
| | Evaluar alternativas de turbinas para el aprovechamiento energético mareomotriz | Revisión sistemática de turbinas hidráulicas para generación energética | | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| | | Realizar diagnóstico de alternativas de características funcionales de las turbinas | | | | | ■ | | | ■ | ■ | |
| | | Análisis de turbina elegida con relación a su funcionamiento | | | | | | | | | | ■ |

| | |
|--------------|---|
| Realizado | ■ |
| En proceso | ■ |
| Por realizar | ■ |

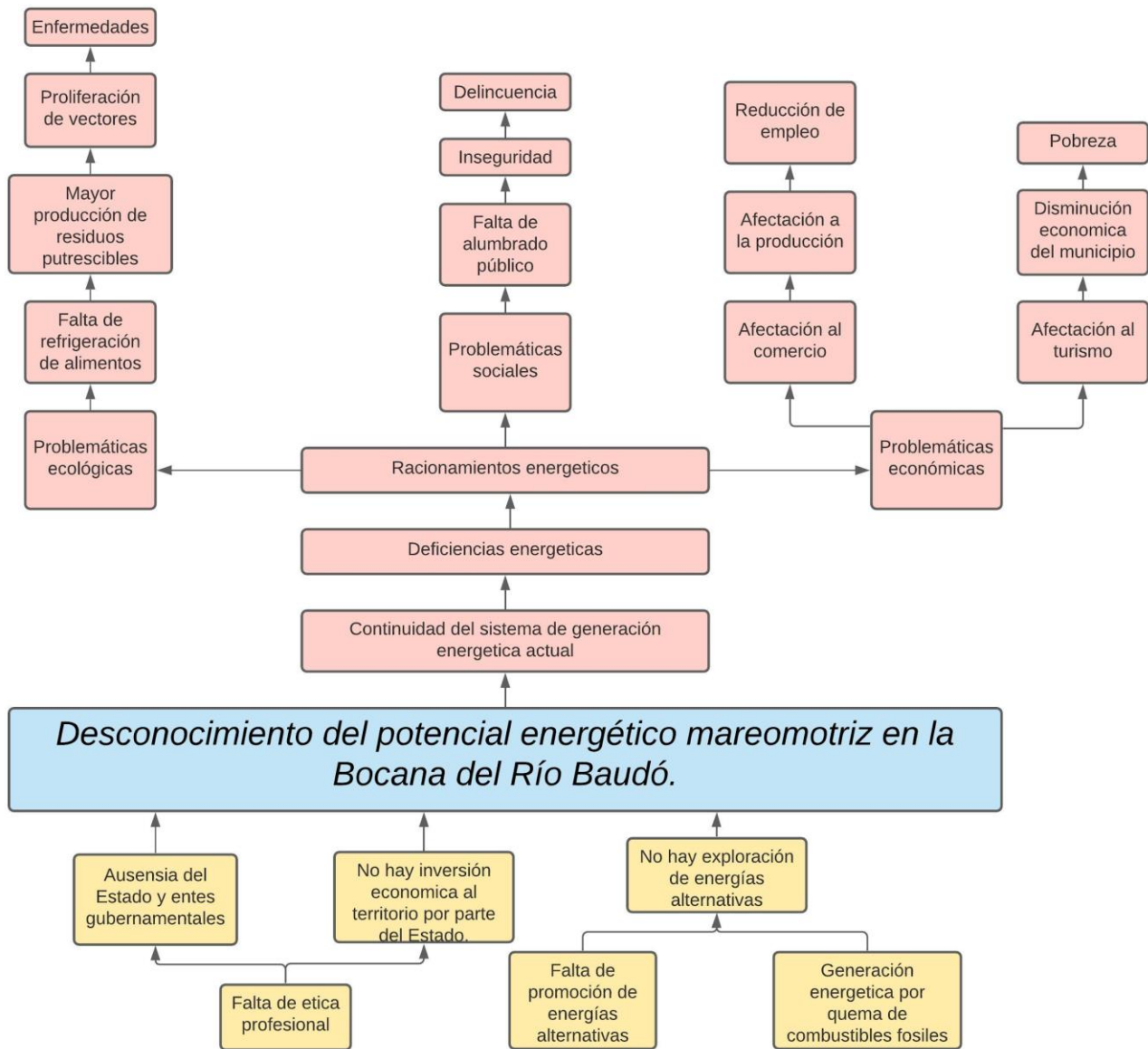
(Autores, 2020)

19.2 Anexo 2. Presupuesto general

| Rubros | Desembolso nuevo | | Total desembolso nuevo | Desembolso en especie | | Total desembolso en especie | Total proyecto |
|---|-------------------|----------|------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------------|-------------------|
| | Año 2019 | Año 2020 | | Año 2020 | Año 2021 | | |
| 1. Personal | | | | 8.270.949 | 7.170.023 | 15.440.971 | 15.440.971 |
| 2. Equipos especializados | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.1. Equipos propios | | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3. Materiales y reactivos | 60.000 | 0 | 60.000 | 0 | 0 | 0 | 60.000 |
| 4. Salidas de campo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5. Refrigerios | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6. Servicios técnicos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7. Capacitaciones | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8. Adquisición o actualización de softwa | 16.232.248 | 0 | 16.232.248 | 0 | 0 | 0 | 16.232.248 |
| 9. Evaluación | 850.000 | | 850.000 | 0 | 0 | 0 | 850.000 |
| 10. Otros | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTALES | 17.142.248 | 0 | 17.142.248 | 8.270.949 | 0 | 15.440.971 | 32.583.219 |

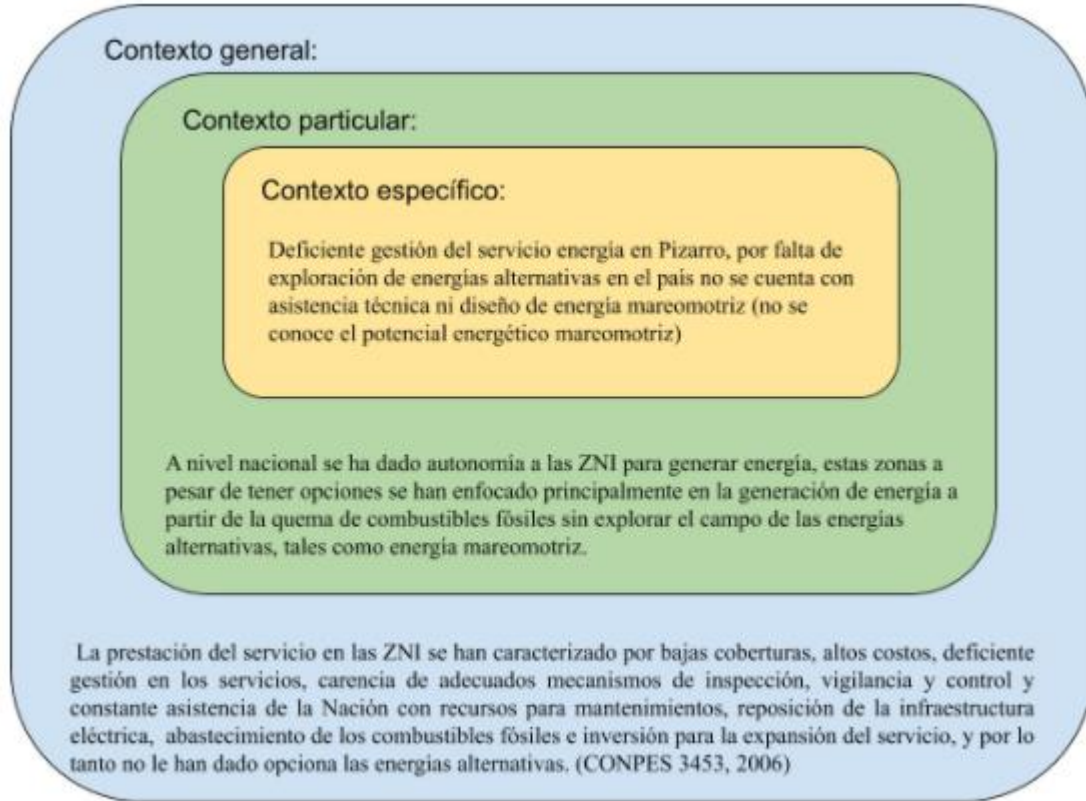
(Autores, 2020)

19.3 Anexo 3. *Árbol de problemas*



(Autores, 2020)

19.4 Anexo 4. Contextualización del problema



(Autores, 2020)

19.5 Anexo 5.

Este anexo se encuentra en el Excel adjunto, el cual corresponde a los pronósticos de pleamar y bajamar presentados por el IDEAM, de igual manera se presenta el promedio máximo y mínimos de altura de marea durante los últimos 6 años, el cual se obtuvo realizando promedios diarios, mensuales y anuales.