

# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES



**Tema:**

**Diseño de Central Hidroeléctrica Waspanona de 243.4 Kw localizada en el municipio de Bonanza de la Región Autónoma del Atlántico Norte (R.A.A.N.) 2016.**

**Tesis presentada como requisito para optar el título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

**Br. José Adrián Ordóñez Mejía**

**Tutores:**

**Msc. Gerardo Bonilla (Docente UCC)**

**Ing. José A. Ordóñez M. (Externo)**

**Managua, Noviembre 2016**

Dedicada primeramente a Dios por el darme el don de la vida y la sabiduría para realizar esta tesis y dedicada a mis padres por todo el amor, la paciencia y su apoyo incondicional que me han tenido a lo largo de mi vida y de mi carrera

Agradezco a mi papá por transmitirme a lo largo de estos últimos años su conocimiento, experiencias profesionales como ingeniero civil y experiencias de vida que son de mucha ayuda para mi formación.

Agradezco a todos los docentes que ayudaron en mi formación como profesional y en especial aquellos que no se limitaron en transmitir el pan del saber sino que fueron más allá y quisieron inculcar valores y una formación para la vida.

Agradezco a todas las personas que me guiaron para la elaboración de esta tesis brindándome información, haciendo observaciones y aportando ideas.

---

Introducción	5
Objetivos	6
Justificación	7
Hipótesis	8
Metodología	9
Narrativa por Capítulo	10
I Unidad: Aspectos Generales del Sitio	11
Topografía	12
Generalidades	12
Metodología del Levantamiento	13
Geología	15
Sector de toma y embalse	15
Aspectos Geotécnicos	19
Sector de Conducción	21
Sector de Casa de Máquinas	24
Hidrología	28
Características Morfométricas de la Cuenca	28
Caracterización Climática	32
Determinación de Caudales Medios	47
Caudales Máximos	67
Crecidas en Sitio para Diferentes Periodos de Retorno	75

Central Hidroeléctrica Waspanona	Índice
II Unidad: Diseño de Minicentral	76
Optimización	77
Desarrollo	77
Resultados	80
Diseño Final	84
Planteamiento General del Proyecto	84
Obras Principales	87
III Unidad: Rentabilidad y Factibilidad del Proyecto	105
Presupuesto de Obras	106
Introducción	106
Análisis de Costos	108
Resumen Presupuesto Constructivo	109
Evaluación Ambiental	110
Análisis Ambiental	110
Acciones del proyecto que pueden generar impactos	112
Programa de Gestión Ambiental	121
Conclusiones	124
Fuentes	125
Anexos	126
Glosario de Términos	127

**Introducción**

La crisis energética y a la inestabilidad en los precios del petróleo, ha creado el mundo la necesidad de estudiar alternativas al consumo de este derivado en la generación de energía eléctrica. Nicaragua no ha sido la excepción, a tal punto que se ha visto en la necesidad de promover medidas que disminuyan esta dependencia, sustituyéndola por fuentes renovables de energía. Actualmente en la Región Atlántica los esfuerzos por mejorar el servicio eléctrico se han visto muy limitados, como consecuencia a los altos costos de operación y mantenimiento de sus parques térmicos, que han originados un subsidio de parte de ENEL para mantener las tarifas al alcance del consumidor, pero con un suministro de energía constante pero limitado.

Es dentro de este contexto que los estudios realizados tienen una importancia mayúscula para el futuro desarrollo socioeconómico de la región, donde se localizan los proyectos y se inserta dentro de los esfuerzos que el Gobierno de Nicaragua está realizando, para lograr un desarrollo sostenible y coherente de la Región Autónoma Atlántica Norte (RAAN), como elemento primordial para el desarrollo del país.

Se estima que la construcción de la mini central de Waspanona, genere una mejora en la calidad del servicio eléctrico actualmente suministrado al municipio de Bonanza, la sostenibilidad del mismo y la generación de energía limpia por 24 horas.

## **Objetivos**

### **Generales**

Elaborar la tesis para obtener el título de Ingeniero Civil demostrando dominio de las materias impartidas en los años de estudio de la carrera.

Realizar un diseño que cumpla con todos los requerimientos y normas necesarios para cumplir con la capacidad requerida por el dueño del proyecto.

### **Específicos**

Identificar el sitio donde se construirá la mini central hidroeléctrica.

Establecer una caracterización del sitio donde se construirá la mini central hidroeléctrica.

Determinar el diseño óptimo para que el proyecto sea factible.

**Justificación**

La razón porque fue escogido es porque es un campo de trabajo propio de la ingeniería civil para la realizar el estudio y diseño de la mini central hidroeléctrica.

El presente tema fue escogido por que es un proyecto factible que estará conectado a la red nacional aportando 243.4 Kw para reforzar la red nacional y surge por la creciente demanda de energía eléctrica del 4.1% proyectado para 2017 según MEM en Nicaragua, siguiendo el plan nacional de cambio de la matriz energética.

Se denomina Mini Central por la clasificación de centrales hidroeléctricas hecha por la OLADE en la cual Nicaragua es miembro desde el 3 de Marzo de 1980 y la cual reconoce como autoridad energética al MEM.

## **Hipótesis**

El diseño eficiente dará como resultado la capacidad de 243.4 Kw en la mini central hidroeléctrica Waspanona.

## **Metodología**

Es una investigación descriptiva porque se caracterizó el sitio donde está ubicado el proyecto así como sus componentes y se describe el funcionamiento de la mini central hidroeléctrica; también es explicativa porque existe una causa del funcionamiento y se obtendrá una capacidad de la mini central hidroeléctrica.

La documentación consultada es la base de datos de las precipitaciones en el sitio de interés obtenida de las estaciones meteorológicas del INETER complementándolas con los datos del modelo climático llamado PRECIS del Centro Humboldt.

Como investigación de campo se obtuvieron los datos geológicos, el levantamiento topográfico y aforos realizados directamente al río en el sitio a realizarse el proyecto.

Para el presente diseño no hay población y muestra porque los estudios de caso se concentran en los elementos que forman parte de la mini central como una sola unidad.

Los datos obtenidos del INETER fueron tabulados en el orden adecuado para el análisis hidrológico y en el caso de los datos faltantes los complementé con los datos proporcionados por el Centro Humboldt corroborando su coherencia mediante métodos estadísticos.

Los datos fueron procesados mediante el programa Statgraphics para establecer correlaciones y así rellenar los datos faltantes para un mejor análisis de la cuenca. Se empleó el programa Excel para elaboración de gráficas que permitan visualizar con mayor facilidad los datos obtenidos. Para los trabajos de Georeferenciación y elaboración de mapas se utilizó el programa ArcGis y para los dibujos técnicos el programa AutoCAD.

En el capítulo uno encontramos la topografía la cual nos dará la metodología para obtener la ubicación y alturas del sitio exacto donde estará ubicado el proyecto.

Luego tenemos el capítulo dos que es la geología muy importante a la hora de realizar un proyecto de este tipo porque nos detallará datos más específicos como los elementos que lo forman así como su estabilidad.

El capítulo tres contiene la hidrología materia que nos permite conocer la capacidad de captación del recurso hídrico el cual permitirá que todo el sistema funcione óptimamente y nos asegurará la permanencia del flujo del agua en la cuenca realizando cálculos de caudal comparando tres métodos.

Continuamos a elaborar la optimización la cual esta descrita en el capítulo cuatro mediante el análisis de los datos topográficos, los datos geológicos y los datos hidrológicos.

En el capítulo cinco se procede a realizar un diseño de cada elemento que conforma la mini central cumpliendo con las recomendaciones del capítulo anterior.

El presupuesto de obras es el capítulo seis analizamos los costos de las distintas opciones que tenemos para obtener un proyecto factible y rentable para el inversionista.

Para finalizar, el capítulo siete realiza una evaluación ambiental del impacto que tendrá el proyecto en la zona tanto impactos positivos como negativos y las medidas a tomar para mitigar los negativos.

## **I Unidad:**

### **Aspectos Generales del Sitio**

Se ubica sitio de presa y se realiza una caracterización del sitio de embalse y delimitación de la cuenca para el proyecto.

## **1. Generalidades**

Debido a la creciente demanda de energía eléctrica de la población y al potencial que tiene nuestro país, formamos parte de un equipo multidisciplinario para dar respuesta a las necesidades planteadas. Como resultado de nuestro esfuerzo y de otros colaboradores, no dimos a la tarea de estudiar el siguiente sitio, viable para desarrollar una pequeña central hidroeléctrica conocida como Waspanona.

### **1.2. Alcances**

El presente levantamiento topográfico tiene como objetivo principal producir mapa de vecindad, perfiles longitudinales, transversales y base de datos, que sirvan de insumo en los estudios de factibilidad de pequeñas centrales Hidroeléctrica Waspanona.

### **1.3. Descripción De Los Trabajos Realizados**

1.3.1. Eje de presa: Se realizaron 4 secciones transversales, siendo la sección 0+0028.79 la que tiene menor distancia para la construcción de la presa, con 24.81 metros de longitud.

1.3.2. Área de embalse: Mediano embalse que se extiende sobre potreros y que únicamente afecta el paso hacia la propiedad y casa del Sr. Antonio Flores. La pendiente del río que determina el área del embalse es fuerte con pequeños rápidos no muy distante.

1.3.3. Área de conducción: En talud estable, terreno rocoso y localizados sobre potreros.

1.3.4. Área de Casa de Maquina: Ubicada en el margen izquierdo aguas abajo, con menor distancia en la línea de conducción con respecto a la margen derecha, en área de cultivo, estancamiento de agua.

## 1.4. Metodología Del Levantamiento

1.4.1. Se establecieron 4 puntos de apoyo, con mojones de concreto, de forma de tronco de pirámide. De los 4 mojones establecidos, los mojones 1 y 2 fueron georeferenciados con GPS Topográfico de precisión, ubicados generalmente en los sitios de presa y origen de los levantamientos. Los mojones 3 y 4 por lo general se ubicaron en el área de conducción cerca a la casa de máquinas.

1.4.2. Se realizaron levantamientos taquimétricos, medición de puntos radiados con poligonales cerradas (área de conducción) y abierta con control GPS de precisión (área de embalse), conservación de azimut y doble distancia entre estaciones.

1.4.3. Georeferenciación: Se partió de la estación geodésica Rosita ubicada en la pista aérea.

PUNTO	UTM – WGS84		ELEVACION ORTOMETRICA	GEOGRAFICA	
	ESTE	NORTE		Latitud	Longitud
3357-IV-1	780855.841	1537713.705	46.700	13° 53' 44.26040"N	84° 24' 04.40560"W
PUNTO	UTM – NAD27				
	ESTE	NORTE			
3357-IV-1	780848.477	1537511.092			

Se establecieron estaciones auxiliares para la medición en el puente de la Españolina y Juzgado Bonanza. Asegurando que la línea base de medición no fuera mayor a los 20 km. Técnica de medición gps estática, con post-proceso, programa GNSS-SOLUTIONS, MAGELLAN – PROFESIONAL.

## 1.5. Errores De Las Mediciones:

PROYECTO	AREA	PRESION RELATIVA	Longitud (m)	Error en elevación	Error Lineal	Error angular
Waspanona #2	Embalse	1/5916	621.175	0.039 mts.	0.105 mts.	0° 01' 00"
	Conducción	1/3667	216.342	0.016 mts.	0.059 mts.	0° 00' 22"

**1.6. Equipos De Mediciones Utilizados:**

- GPS: PROMARK3 – MAGELLAN, línea base 20 km, Horizontal 5mm +1 ppm, Vertical 10 cm + 2 ppm
- ESTACION TOTAL: LEICA- TC605
- Precisión Angular: Cinco segundo (5'')
- Precisión Lineal: 3 mm + 3 ppm.

**1.7. Conclusiones**

En su topografía tenemos taludes de fuerte pendiente en la margen derecha y zona plana en la margen izquierda de la zona del embalse, siendo este el segundo de menor extensión por la fuerte pendiente del río. En el sector de conducción sus taludes son estables y en la actualidad son usados como potrero. Este proyecto se localiza a 225 metros de camino de todo tiempo.

## 2.1. Sector de toma y embalse.

El sector de toma se caracteriza por conformar una garganta cerrada cuyas márgenes poseen pendientes altas, siendo más prominentes en la margen derecha donde la pendiente alcanza  $31^\circ$ , mientras que en la izquierda alcanza  $27^\circ$  (ver figura 2.1 Mapa geológico, 4 perfiles transversales y foto 2.1)

Sobre el eje de toma, en la sección del cauce (coordenadas 754581-1549833), afloran lavas andesítico-basálticas de buena condición física, hacia las márgenes esos materiales están sobreyacidos por suelos de color rojizo (figura 2.2 y fotos 2.1 y 2.2).

El embalse corresponde con valle abierto se baja pendiente y compuesto por el afloramiento de suelos generados de la meteorización de las lavas y materiales aluviales arrastrados por la corriente del río y depositados en los periodos de avenidas importantes, el área está ocupada por zonas de pastos o potreros (figura 2.1 y fotos 2.3 y 2.4).

**Foto 2.1. Aspecto Geomorfológico del eje de presa, garganta con afloramiento de roca en el cauce y suelos de color rojizo en las laderas de la margen derecha (MD) e izquierda (MI)**

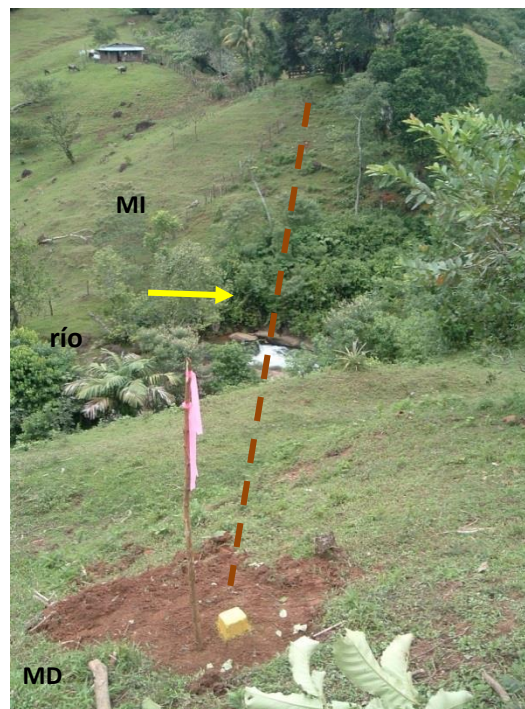


Figura 2.1 / Mapa Geológico Waspanona

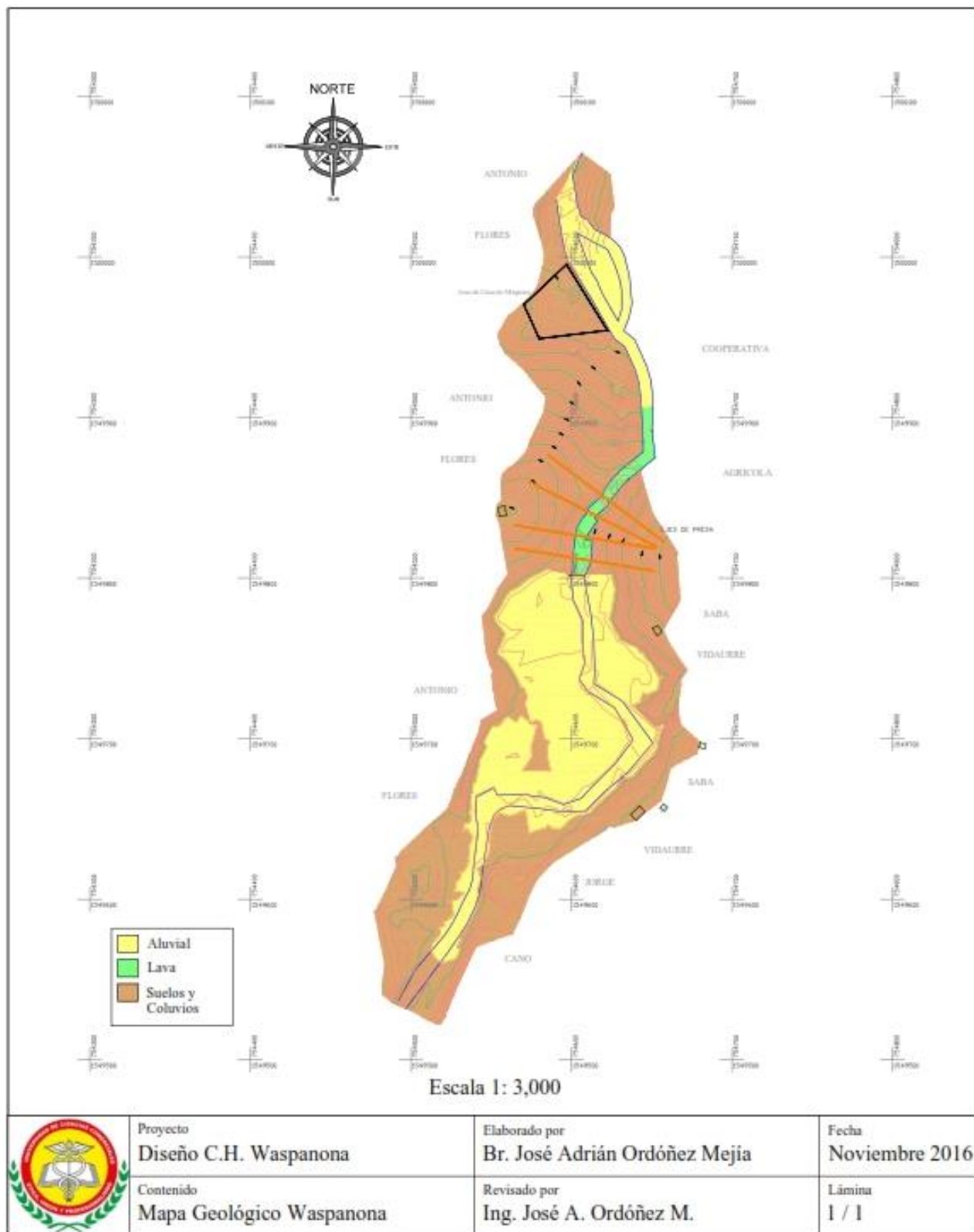
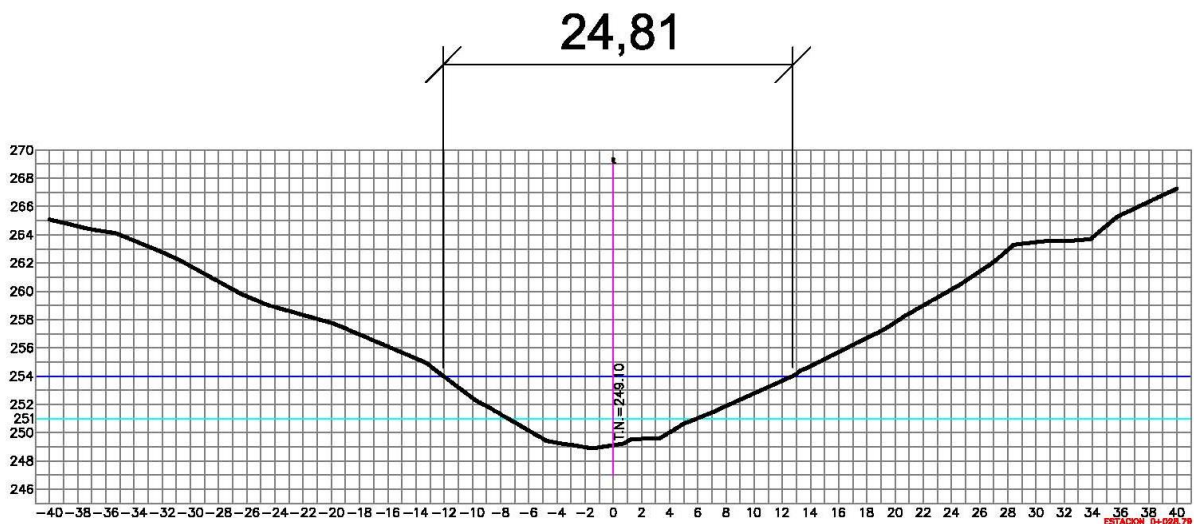
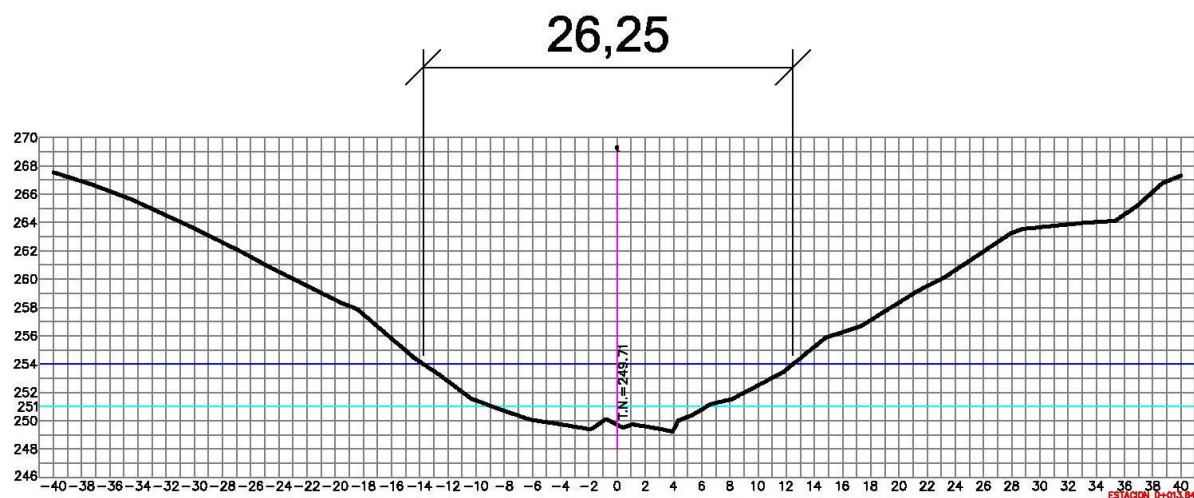
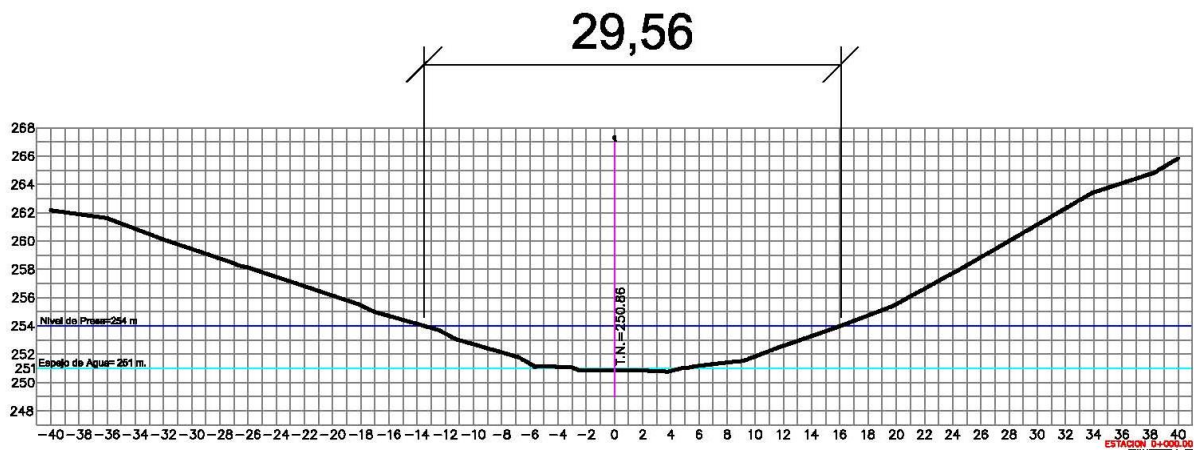


Figura 2.2 / Perfil Transversal al eje de Presa Waspanona



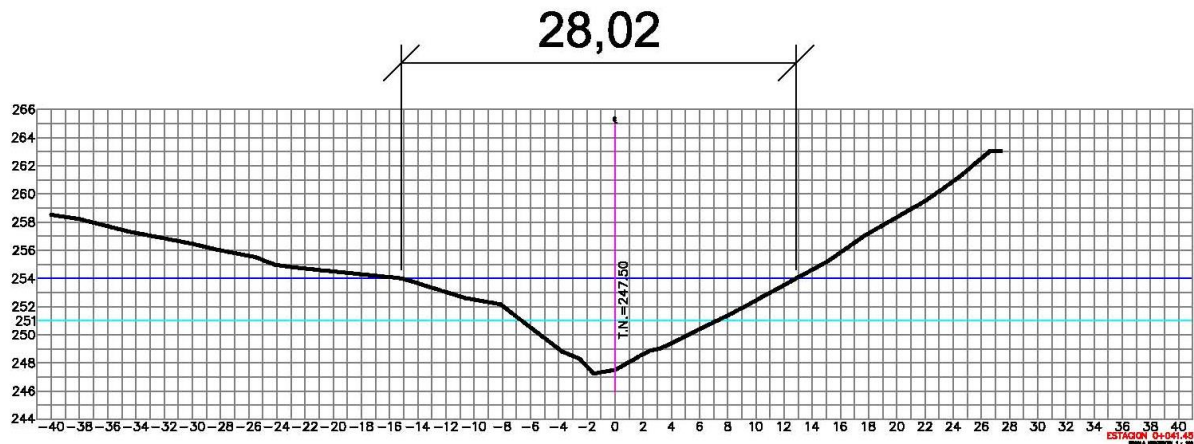


Foto 2.2. Afloramiento de lavas sobre el cauce del Río Waspanona en el eje de presa y sobre las márgenes hacia aguas abajo, estos materiales son sobreyacidos por suelos hacia el interior de las laderas



Foto 2.3. Aspecto Geomorfológico del área del embalse observado dese la margen derecha del Río Waspanona



**Foto 2.4. Sector del embalse observado desde la margen izquierda del Río Waspanona**

## 2.2. Aspectos Geotécnicos.

Estos aspectos fueron evaluados efectuando levantamientos de campo, mediante la construcción de calicatas y con sondeos de penetración.

La roca que se ubica en el cauce en el sector de la toma, presenta buena condición física y dos juegos de fracturas principales: la primera con rumbo  $N50^{\circ}E$  y la otra con rumbo  $N70^{\circ}W$ , ambas verticales y cuya conjunción genera bloques de aproximadamente 90 cm de largo por 50 cm de ancho. Las fracturas son limpias y se observan abiertas por la acción erosiva del agua.

Esos materiales poseen continuación hacia las laderas, siendo que las mismas son de alta pendiente y superficialmente muestran suelos generados por la meteorización de las lavas. Se estima que al nivel de fundación de la obra de toma, a 3 m sobre el espejo de agua, el espesor de suelos es bajo, en total de 2.0 m.

En el sector del embalse, que se circunscribe a las inmediaciones del cauce, dado que la altura de presa es de 3 m, está compuesto por laderas de pendiente suave y topografía ondulada (Figura 2.1, fotos 2.2 y 2.3) donde afloran suelos cuyo espesor no superan los 2.0 m, sin embargo, no existen evidencias de reptación ni desprendimientos en esa zona ni en las inmediaciones, únicamente se observan deslizamientos asociados a la sección alta de una quebrada intermitente que se localiza al sureste y que es atravesada por el camino de acceso hacia Bonanza.

La descripción de lo más reciente a lo más antiguo (de arriba hacia abajo) es como sigue. Se encontró un suelo residual color café amarillento de 0.2 m de espesor.

Por debajo de este horizonte se encuentra una capa de material coluvial de unos 0.3 m de espesor conformado por fragmentos de roca de diámetro entre 0.01 – 0.05 m, dentro de una matriz arcillo – limosa de color café grisáceo.

Un horizonte de regolito se encuentra por debajo del coluvio. El espesor de esta capa es de 1.8 m.

El basamento rocoso se encontró a una profundidad de 2.0 m. A continuación se presenta la columna litológica compuesta representativa del área evaluada.

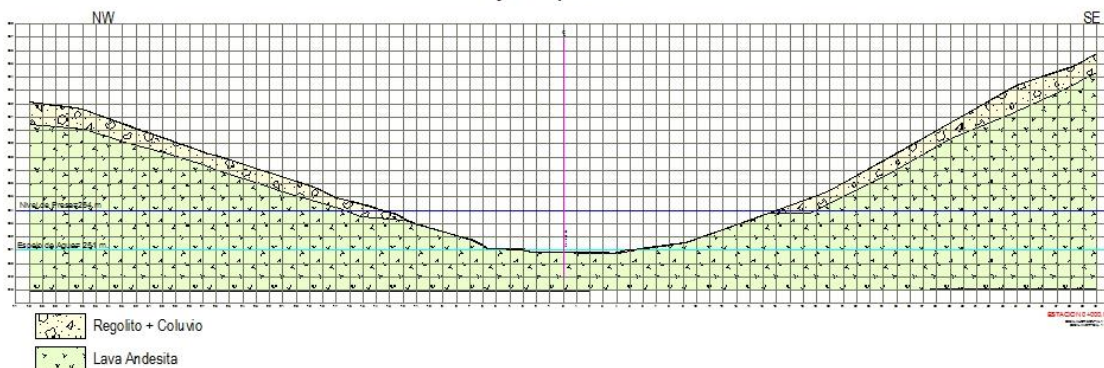
En el lecho del río Waspanona, a unos 8 m de los sitios donde fueron realizadas las catas, se puede observar el basamento rocoso representado por lavas de composición andesita – basalto (Ver Columna Generalizada).

La prueba de la capacidad de carga del subsuelo señala que en el sitio de presa se encuentran valores de  $3.4 \text{ Kg/cm}^2$  a una profundidad de 2.0 m.



Foto 2.5. Tomada en el sitio de presa Waspanona II, estribo W. Los resultados señalan que en este lugar el subsuelo presenta una capacidad de soporte de  $3.4 \text{ Kg/cm}^2$  a una profundidad promedio de 2.0 m.

Perfil Litoestratigráfico Waspanona  
Eje de presa



### 2.2.1. Sector de conducción.

Geológicamente está comprendido por ladera donde afloran suelos de color café rojizo y bloques de lavas, se estima que el suelo es producto de la meteorización y alteración de las lavas (figura 2.1)

Se determinó, desde el punto de vista geomorfológico, que el valle del Río Waspanona es asimétrico en este sector, siendo que la margen izquierda posee mejores condiciones para ubicar la conducción debido a que está conformada por una ladera que se observa estable con pendiente de media a alta, mientras tanto, la margen derecha posee laderas de alta pendiente donde se observan signos de deslizamientos recientes localizados sobre la cota de diseño de la tubería y por tanto representa una amenaza sobre esa estructura.

Las figuras 2.1 y 2.3 y la foto 2.6 presentan aspectos de la margen izquierda y la ubicación aproximada de la tubería de conducción.

Esa ladera está conformada por bloques de lava de tamaños hasta de orden métrico y suelos de color café claro

**Foto 2.6. Aspecto de la ladera de la margen izquierda del río Waspanona donde se ubicaría la tubería de conducción del PH Waspanona 2, se observa la roca en el cauce.**



Se realizó una excavación con una profundidad de 2.0 m., hasta alcanzar el basamento rocoso.

---

En este sitio se presenta superficialmente un suelo residual de textura arcillosa, color café oscuro (por el contenido de materia orgánica) con un espesor de 0.25 m.

Por debajo se observó una capa de suelo inorgánico de color café amarillento con clastos de material volcánico, poco redondeado, evidenciando arrastre de lugares cercanos. El espesor observado de este horizonte es de 1.8 m.

El fondo de la excavación está representado por bloques de lavas andesítica de alta consistencia, aunque fracturados.

En los alrededores del sitio excavado se pueden observar afloramientos del basamento rocoso compuesto por lavas volcánicas terciarias.

En este segmento se realizaron dos pruebas de penetración estándar. Las pruebas de capacidad de carga del subsuelo señalaron que en la línea de conducción se encuentran valores de 3.4 Kg/cm<sup>2</sup> a una profundidad de 2.0 m. Los resultados de campo se presentan en el Anexo de Pruebas de Penetración Estándar.

La determinación del coeficiente de fricción interna en el segmento donde se pretende la construcción de la línea de conducción señala que este valor es de 12° máximo. Esto indica que todo el material que se encuentra por encima del basamento rocoso y en el talud existente en la margen derecha del río Waspanona se encuentra en estado susceptible a fenómenos de inestabilidad.

Para reducir el efecto negativo que ejerce el talud existente se recomienda construir los soportes de la línea de conducción sobre bulbos o pilotes a una profundidad mínima de 2.5 m.

La figura 2.3 perfil topográfico muestra el perfil topográfico del trayecto de la tubería de presión, el cual posee una longitud de aproximadamente 154 m y una pendiente promedio (en la sección de mayor gradiente) de 31° o 69%.

La opción de la margen derecha posee una longitud mínima de 233 m.

Geotécnicamente, la ladera de la margen izquierda se observa sin signos que indiquen inestabilidad, aún en la sección de mayor caída como se observa en la foto 2.6.

Foto 2.6. Ladera de máxima pendiente de la Tubería de Presión, se observan bloques de lava de tamaño métrico

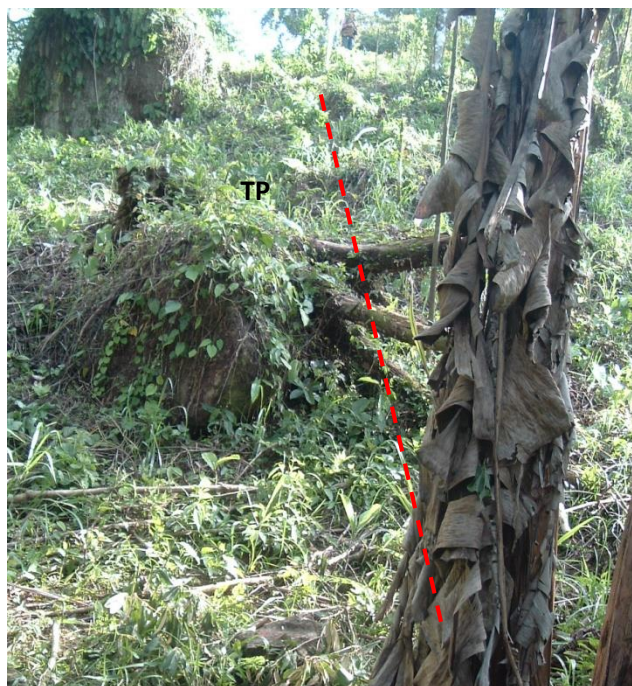
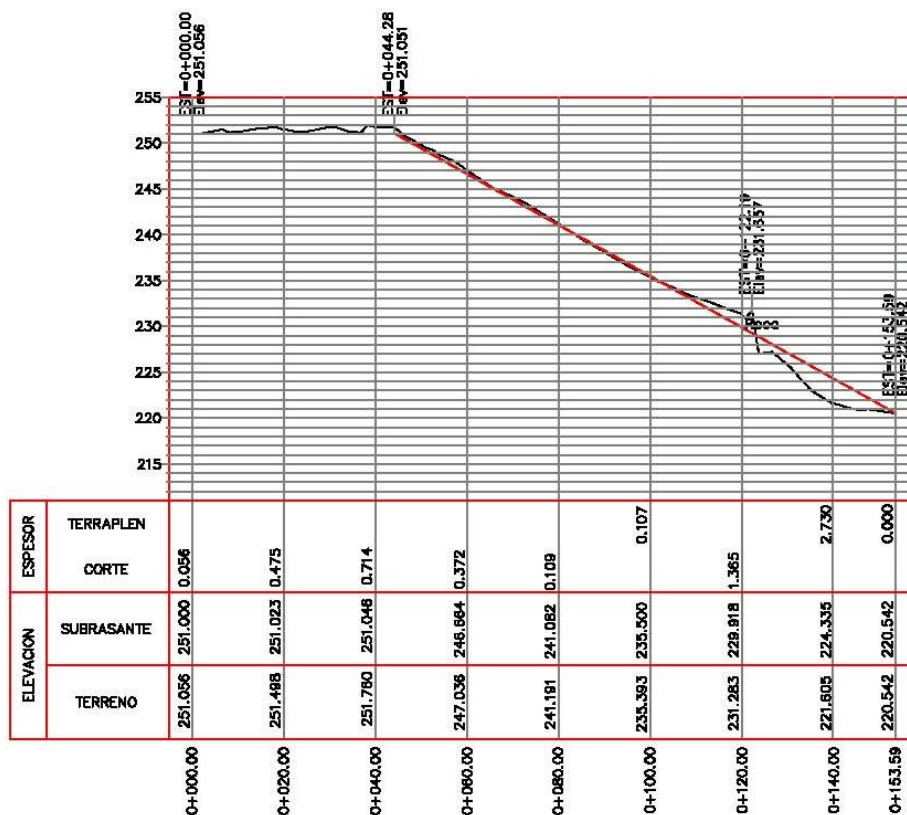


Figura 2.3 / Perfil Geológico Tubería de Presión Waspanona



### 2.2.2. Sector de Casa de Máquinas

Corresponde con una terraza coluvio-aluvial localizada en la margen izquierda del Río Waspanona de acuerdo a la estación topográfica 86 aproximadamente en las coordenadas 754572-1549757 (Figura 2.1 y Foto 2.7).

**Foto 2.7. Terraza al pie de la ladera de conducción donde se propone construir la Casa de Máquinas**



Hacia el suroeste se observa la presencia de una zona pantanosa deprimida con topografía suave y pendiente hacia la margen del río (foto 3.8), ese sector coincide con el depósito de materiales de un deslizamiento antiguo y que actualmente solamente presenta humedad como producto del fenómeno que lo formó, se recomienda efectuar labores de drenaje para evitar que la presencia de agua en el suelo sea un factor inconveniente para la construcción de la obra

**Foto 2.8, sector de Casa de Máquinas y su relación con el área de depósito de un deslizamiento antiguo**



Se realizó una excavación a unos 50 de la margen izquierda del río Waspanona con una profundidad de 2.0 m, en el sitio donde se propone la construcción de la casa de máquina.

El resultado indica que el suelo está conformado por una capa de material fino de textura arcillosa, color café. El sitio se inundaba debido a la proximidad de un pequeño cauce de escorrentía superficial.

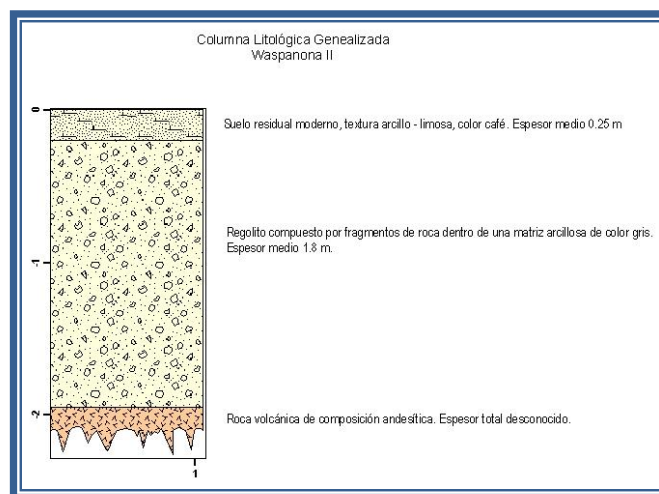
El basamento rocoso no fue determinado efectivamente debido a la presencia del agua en la excavación. Además, ya que al momento de la etapa de campo estaba lloviendo abundantemente, la escorrentía superficial también impedía la observación del fondo de la calicata exploratoria.

El sitio excavado se desplazó 5 m hacia el oeste desde el mojón topográfico. Esto se determinó para reducir el impacto de la escorrentía superficial antes mencionada.

La columna generalizada representativa del área del proyecto Waspanona se muestra a continuación.

En el sitio de casa de máquina se realizaron dos pruebas de penetración estándar y se presenta el promedio. Las pruebas de capacidad de carga del subsuelo señalan que en este sitio se encuentran valores de  $3.0 \text{ Kg/cm}^2$  a una profundidad de 2.20 m. Los resultados de campo se presentan en el Anexo de Pruebas de Penetración Estándar.

En la Figura 2.4 se presenta la Columna litológica generalizada del área de estudio. Esta columna es válida para todo el sector con muy poca variación.



### **2.3. Conclusiones.**

El área donde se desarrollara el PH Waspanona, se caracteriza por la presencia de lavas de buena condición física, que por los procesos de meteorización y erosión, generan suelos de color rojizo que pueden alcanzar espesores métricos, especialmente en las zonas de baja pendiente.

Los sectores de sitio de presa y canal de conducción están dominados por la presencia de lavas superficialmente o a poca profundidad, siendo que se estima en 2.2 metros de excavación para eliminar el material indeseable.

Las condiciones geológicas antes expuestas también se traducen en buenas condiciones geotécnicas, ya que las laderas donde se localizan las obras presentan estabilidad, no hay signos de reptación ni evidencias de deslizamientos recientes.

Las excavaciones se pueden llevar a cabo utilizando retroexcavadoras similares al tipo Caterpillar 320 o incluso de menor tamaño.

Los anclajes de la tubería de presión se deben colocar a unos 2.5 m de profundidad, sobre la roca ya que aunque el suelo posee alta capacidad soportante, el ángulo de fricción interna del mismo está excedido por la alta pendiente de la ladera y en esos materiales se pueden presentar desprendimientos si son sometidos a esfuerzos horizontales.

Se recomienda que la ladera sea protegida con sistemas de drenajes que minimicen el efecto de la escorrentía superficial y a la vez, efectuar controles de erosión con especies vegetales, que además, favorezcan la estabilidad y que no generen peso excesivo en el suelo.

En cuanto a la casa de máquinas, la misma se ubica en una terraza aluvial que debe ser protegida contra posibles avenidas del río, mediante diques y trabajos en el cauce para minimizar efectos en la margen derecha. En cuanto al soporte de la estructura, se obtienen valores altos a partir de 2.0 m de profundidad, se estima la posibilidad de excavar y sustituir con materiales adecuados o una losa de concreto para garantizar la estabilidad de la obra, ya que la misma es de pequeña envergadura.

La sección que se localiza hacia la ladera de conducción debe ser trabajada con sistemas de drenajes que evacuen el agua de escorrentía hacia el cauce del río.

Se presenta el siguiente cuadro resumen de los resultados de laboratorio del estudio de suelos

*Resultados de los ensayos de laboratorio geotécnico*

Sitio	Coordenadas		Porcentaje que pasa malla				LL	IP	SUCS	Prof. (m)	Descripción geológica
	ESTE	NORTE	4	10	40	200					
Presa	759719	1548662	90	80	60	40			SM	1.75	Fragmentos de roca dentro de una matriz franco limo arcillo – arenosa, color café claro a gris
Presa	759704	1548618	100	70	50	30			SM	1.60	Fragmentos de roca dentro de una matriz franco limo arcillo – arenosa, color café claro a gris
Conducción	759378	1548588	100	100	80	70	30	17	CL	1.40	Suelo arcilloso color café oscuro con bolones
Máquina	759234	1548684	100	95	80	60	33	19	CL	1.55	Suelo arcilloso color café oscuro con bolones

### **3.1. Introducción**

Frente a las crecientes dificultades asociadas con el suministro y los precios que actualmente está adquiriendo el petróleo, es necesario movilizar recursos y potencialidades disponibles para dotar de adecuadas cantidades de energía eléctrica al país, que por una parte contribuyan a disminuir la dependencia del petróleo en la generación de energía eléctrica, y que por otra parte contribuyan a elevar su desarrollo para generar mejores condiciones de vida a la población, siendo una alternativa el aprovechamiento de los recursos hidroeléctricos del país.

Para el año 2006 Nicaragua contaba con una capacidad instalada nominal de **778 MW**, pero su capacidad instalada efectiva era de **565 MW**. El 75% de esta capacidad instalada era producida por derivados de hidrocarburos, lo que representaba una dependencia muy aguda de la matriz eléctrica nacional.

En la actualidad, el Gobierno de Nicaragua está dando prioridad al “**Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable**”, promoviendo un marco legal que facilita la inversión de fuentes de energía renovables que puedan sustituir paulatinamente la matriz energética actual.

### **3.2. Localización del Sitio.**

Waspanona se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 754607 Longitud Este y 1549815 Latitud Norte. A unos 5.5 Km del poblado de Bonanza, al lado del camino que comunica la hidroeléctrica “Siempre Viva”, propiedad de HEMCO con Bonanza Urbano.

### **3.3. Características Morfométricas de la Cuenca.**

Como frecuentemente es necesario efectuar comparaciones con cuencas hidrográficas ya estudiadas, o con aquellas en que se disponen de registros e informaciones en largos períodos de tiempo, es necesario hacer un cuadro comparativo de las características físicas de las hoyas. Estas pueden resumirse así:

### 3.3.1. Tamaño de la Cuenca.

Este indica la superficie del área drenada, es decir, desde donde nace el cauce hasta donde se encuentra el sitio de control, que va a servir de base para el estudio hidrológico de la cuenca. Generalmente, se indica en kilómetros cuadrados.

### 3.3.2. Forma de la Cuenca.

La forma de la cuenca influye directamente en el modo de escurrimiento. Este factor de comparación es importante sobre todo en el análisis de crecidas.

Aunque es difícil expresar por medio de un índice numérico, cómo la forma de la cuenca de drenaje afecta el régimen de una corriente, se han sugerido varios índices valiosos. Gravelius propuso el término “factor de forma” usando la relación del perímetro de la cuenca con la circunferencia de un área igual a la de la cuenca. A esta relación suele llamarse coeficiente de compacidad y se define como:

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

En dónde: P: Perímetro de la Cuenca en Kilómetros  
A: Área drenada en Kilómetros cuadrados

Haciendo la aplicación de esta fórmula se obtiene para la cuenca de Waspanona que el coeficiente de compacidad es de 1.58.

### 3.3.3. Elevación media de la cuenca.

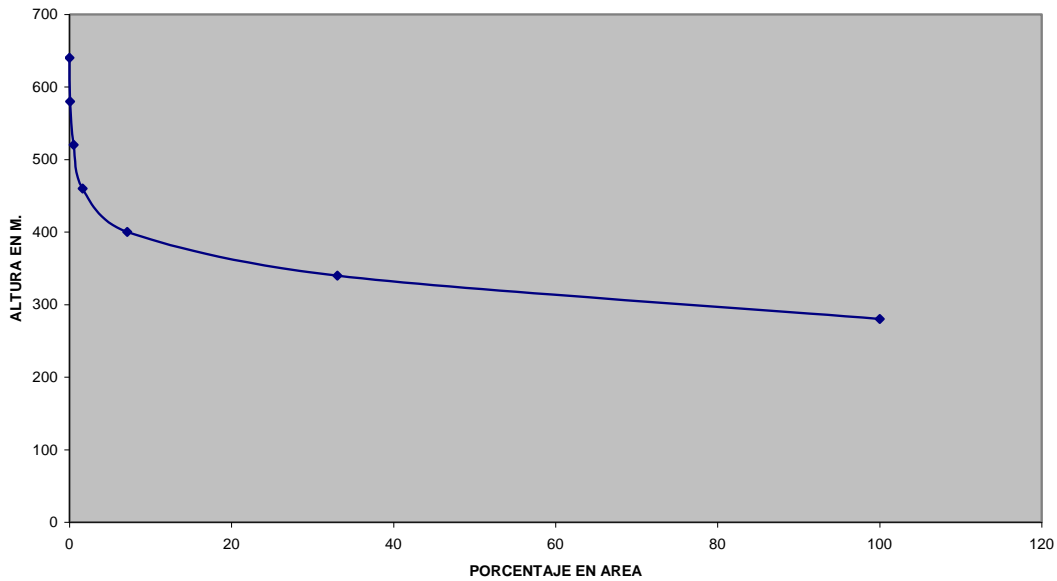
La elevación media de la cuenca es un factor que se relaciona a la temperatura y la precipitación. A su vez la variación de las temperaturas influye en la variación de las pérdidas de agua por evaporación. Por esta razón, en hidrología se utiliza como parámetro representativo la elevación media de la cuenca.

Con el objetivo de tener una representación de las superficies dominadas por encima de cada cota, y a la vez tener en cierto modo una caracterización del relieve de la cuenca en estudio se elabora la curva hipsométrica.

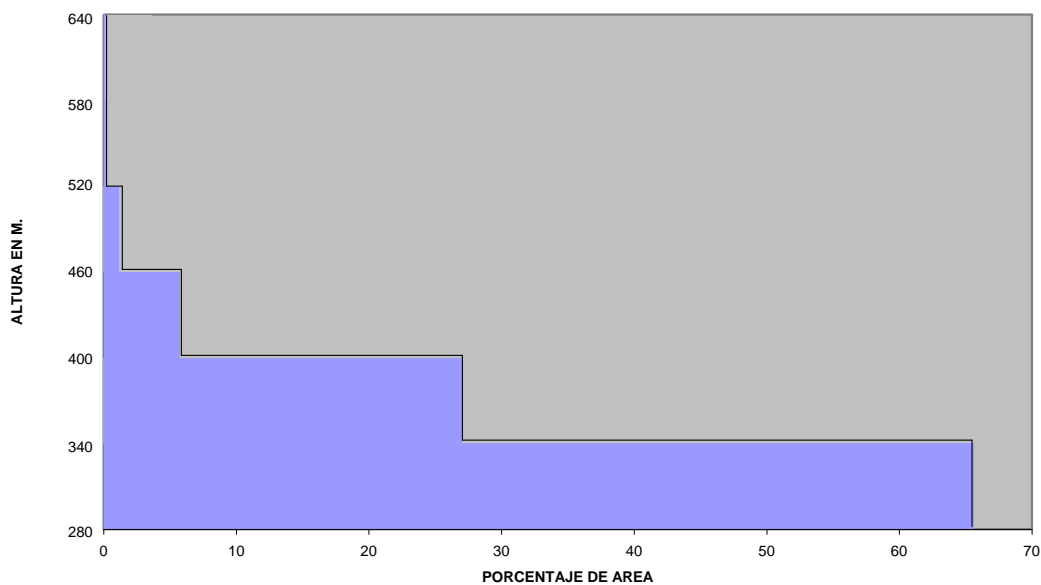
De igual manera se calcula la curva de distribución de frecuencia de altitudes, con el objetivo de poder apreciar la proporción en porcentaje de la superficie total de la cuenca comprendida entre curvas de nivel.

Para Waspanona, el valor de la elevación media de la cuenca es de 338 msnm.

**CURVA HIPSOMETRICA WASPANONA**



**CURVA DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIA WASPANONA**



### **3.3.4. Pendiente de la Cuenca.**

Muy ligado a la elevación, por cuanto se refiere al aspecto cinético del escurrimiento, está el concepto de la pendiente media de la cuenca.

La pendiente de la cuenca de drenaje guarda una relación importante y es algo compleja con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea que da al caudal de la corriente. La pendiente de la cuenca es uno de los factores principales que determinan la oportunidad del flujo sobre la tierra. También determina la concentración de la lluvia en los cauces y tiene importancia directa en relación con la magnitud de las avenidas.

Para Waspanona, el valor obtenido del índice de pendiente es de 0.090.

### **3.3.5. Drenaje de la Cuenca.**

Otra característica importante de toda cuenca de drenaje es la distribución de los cauces, que en el transcurso de los siglos ha abierto la naturaleza dentro de la cuenca.

Por densidad de drenaje se entiende la mayor o menor facilidad que presenta una cuenca hidrográfica para evacuar las aguas provenientes de las precipitaciones que quedan sobre la superficie de la tierra, debido al grado de saturación de las capas del subsuelo. Numéricamente se representa la red de drenaje por unidad de superficie. Suele utilizarse como complemento de los índices de pendiente y como capacidad a efectos de escorrentía superficial.

La densidad de drenaje de la cuenca Waspanona es de 0.529 Km/Km<sup>2</sup>.

### 3.3.6. Otras Características.

Adicionalmente a las características antes mencionadas, se analizan en la cuenca objeto de estudio las siguientes:

Concepto	Valor
Elev. Máx. de Cuenca (msnm)	500
Elev. Mín de Cuenca (msnm)	300
Elev. Máx. de Río (msnm)	340
Elev. Mín. de Río (msnm)	300
Long. De Río (Km)	6.38
Tiempo de Concentración (min)	33.0

### 3.4. Caracterización Climática

En vista de que en el área del sitio de estudio no se dispone de la información suficiente, se opta primeramente por analizar la dinámica espacial de los parámetros climatológicos en una zona más amplia, para luego entrar al análisis de los mismos en cada una de las áreas de los sitios.

El área de estudio presenta en algunas partes una topografía accidentada. Las elevaciones cobran importancia en la modificación de las temperaturas y en la distribución del campo de precipitación. En tal sentido, los factores anteriores, son determinantes para que el régimen climatológico de la zona esté caracterizado por el comportamiento predominante de la precipitación, la humedad, el viento y la temperatura, sobre los elementos climáticos que pasan a otro nivel de importancia.

Para llegar a la caracterización climática del área de estudio, se requiere de un proceso de recopilación de la información disponible en el área; selección de la información disponible que permitirá determinar el período de estudio y finalmente el análisis de consistencia. Se debe de hacer un relleno de datos faltantes de la información seleccionada.

#### 3.4.1. Recopilación de información.

Dentro de las áreas de las cuencas de los sitios en estudio se carece de información climatológica, lo cual se tiene que recurrir a la recopilación de la información climatológica existente en las cuencas vecinas, atendiendo los objetivos del estudio en el área, de determinar el comportamiento temporal y espacial de los principales factores climatológicos modificadores del clima en las áreas

de estudio, para lo cual se seleccionaron 5 estaciones, las cuales están ubicadas lo más próximamente posible al área de estudio a como se puede apreciar en la **Figura N° 3.1**.

Las estaciones seleccionadas se presentan en la **Tabla N° 3.1**, donde se dan a conocer datos de interés, tales como el número de la cuenca y de la estación, nombre de la estación, tipo, coordenadas y elevación, debiéndose observar que el rango de elevaciones oscila entre los 40 y 340 metros sobre el nivel medio del mar.

**Tabla N° 3.1**

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ELEV. (msnm)
53001	Siuna Luz Mine	Pv	13°44'30"	84°46'30"	180
53004	Salto Grande	Pv	13°54'00"	84°36'00"	340
53008	Rosita	Pv	13°55'51"	84°24'48"	96
53009	Emp. De Baka	Pv	13°39'54"	84°26'00"	40
53010	Bonanza	Pv	14°00'54"	84°35'36"	180
	Precis 01		14°01'48"	84°46'48"	
	Precis 02		13°48'40"	84°46'48"	
	Precis 03		14°01'48"	84°33'36"	
	Precis 04		13°48'40"	84°33'36"	

### 3.4.2. Selección de la información.

Para la selección de la información, se realiza primeramente un análisis de la distribución espacial de las estaciones seleccionadas, para de esta manera procurar una mayor representatividad y una mejor aproximación a las condiciones físico geográfico en el área de la cuenca. Seguidamente se valora el período de registro de cada una de las estaciones seleccionadas, con el propósito de determinar si los datos existentes son suficientes para los fines seleccionados, o si es necesario la obtención de otros, utilizando métodos estadísticos. En este sentido, se seleccionaron datos de precipitación, temperatura media y humedad relativa de las estaciones.

### 3.4.3. Determinación del Período de Estudio.

De acuerdo a la disponibilidad de los registros de las estaciones seleccionadas, se determina el período de estudio tomando en consideración la posibilidad de disponer de la mayor cantidad posible de información en el área de estudio, ya que el número de años de observaciones modifica a la vez el valor característico investigación y la precisión de ello, donde de acuerdo a estudios realizados, a partir de 20 – 30 años de medición el valor calculado no varía más que unos por cientos.

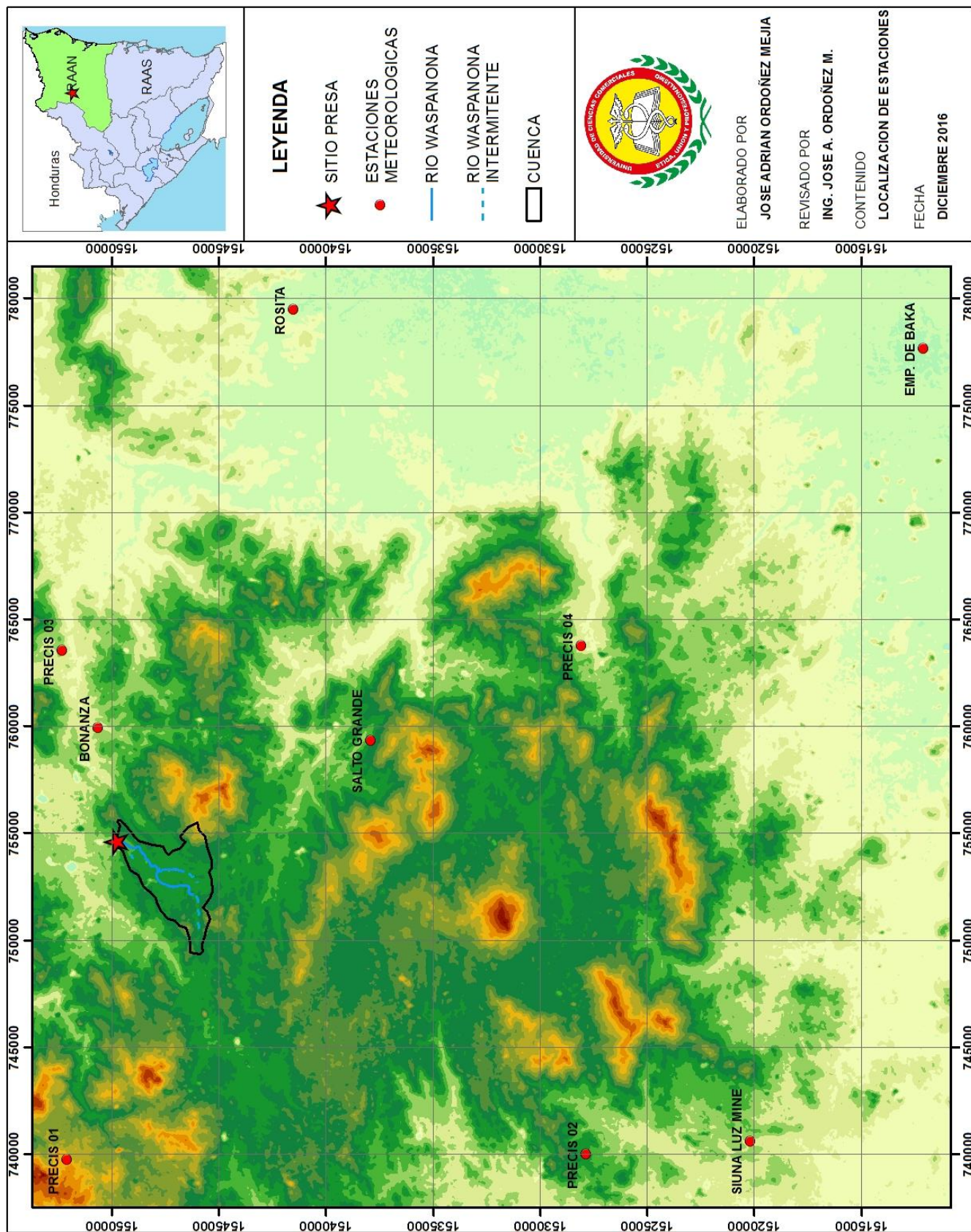


Figura 3.1

---

Para el presente estudio se escoge un período de 44 años de registros, tomando en consideración los objetivos de que la operación de las estaciones seleccionadas sea de una manera regular, que permita trabajar con una mayor cantidad posible de valores de mediciones de los parámetros climatológicos requeridos, para disminuir su variación. Por otra parte, dada las grandes variaciones, tanto espaciales como temporales que presenta la precipitación, tratar de cumplir con las normas internacionales regidas por la Organización Meteorológica Mundial (Guía de Prácticas Climatológicas. OMM N° 100), donde establecen que para utilizar la variable precipitación en los estudios climatológicos, se debe seleccionar series de datos referidas por lo menos a períodos de 30 años

#### **3.4.4. Homogenización de Series.**

Las series de las estaciones seleccionadas presentan datos faltantes, los que fueron recuperados mediante diferentes métodos estadísticos según cada caso. Una vez salvada esta situación se procedió a establecer el grado de homogeneidad de cada serie, para lo cual se utilizaron los criterios establecidos en el test de **THOM**, que usa la prueba no paramétrica de rachas para determinar si una serie es homogénea, o alternativamente, en dependencia de que existe o no una tendencia de oscilación periódica de la media.

De acuerdo al método se disponen los datos anuales en orden cronológico y, después de haber determinado el valor de la mediana  $m$ , se cuenta el número de veces en que la serie cambia de valores superiores a inferiores de  $m$  y viceversa. El número total de cambios  $S$  debe de estar dentro de los límites establecidos para considerar que la muestra es homogénea, resultando para nuestro caso que en todos los registros de precipitación de las estaciones consideradas en el estudio, caen dentro de los límites establecidos, por lo tanto podemos decir que las muestras son homogéneas.

Para verificar los resultados obtenidos por el método de las rachas, también se utiliza el Método de la Doble Masa, sirviendo como estaciones bases las estaciones de referencias, las que resultaron ser homogéneas en pruebas aplicadas anteriormente.

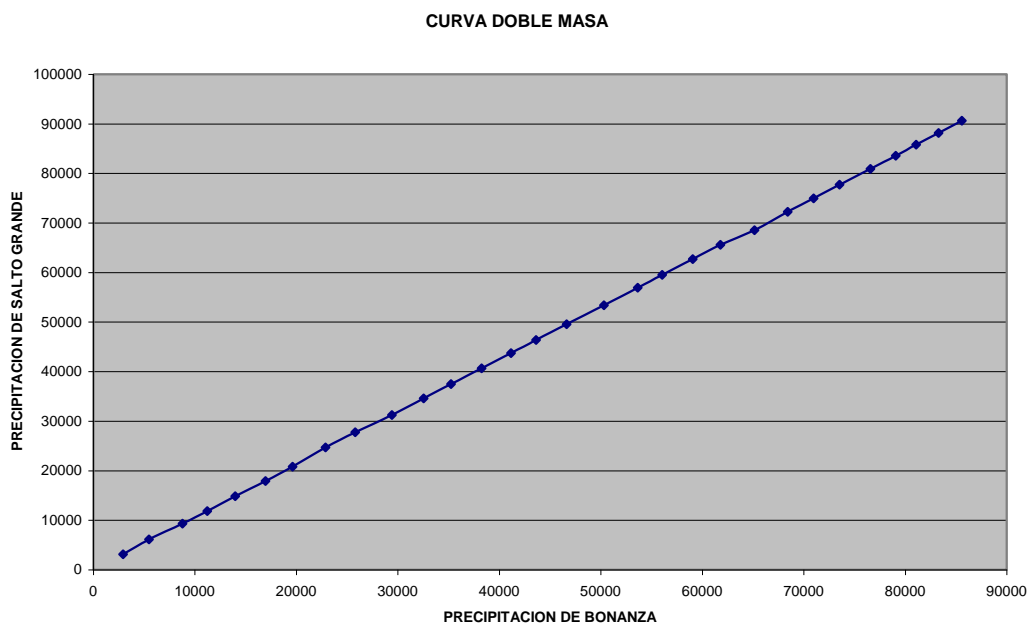
El método de la doble masa se basa en el hecho de la proporcionalidad que debe existir en una cuenca homogénea, entre las precipitaciones mediadas en varias estaciones, que al graficarse se manifiesta con la alineación recta, indicando que las precipitaciones de las estaciones en análisis

están sujetas a un mismo tipo de régimen, lo que se denomina régimen uniforme. Si ese no es el caso, los puntos deberán tener una tendencia errática, habrá que convenir que algún fenómeno, que hay que ubicar, alteró la calidad de las medidas. Los resultados obtenidos se puede apreciar en los **Gráficos N° 3.1 N° 3.2 y N° 3.3.**

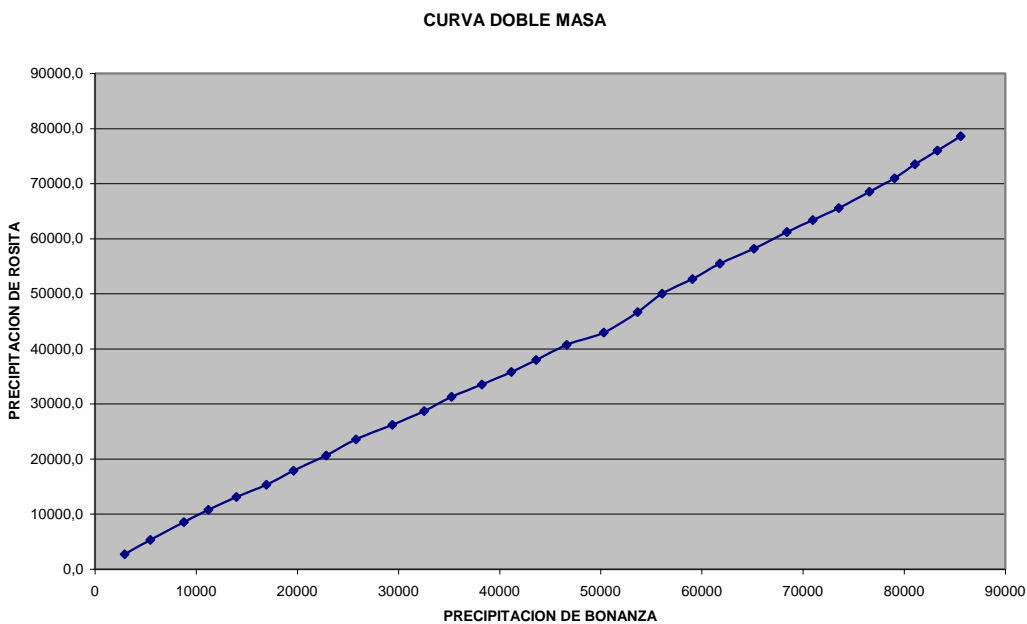
### 3.4.5. Interpolación y/o extrapolación de datos.

Una de las características de los datos de las series seleccionadas, es la carencia de algunos datos que por diversas razones no están registrados. Para resolver este problema, se utilizan distintos métodos, dependiendo del número de datos faltantes y del tipo de variable en estudio. Para el caso de datos faltantes de precipitación y humedad relativa se procede a establecer coeficientes de correlaciones, para determinar mediante análisis de regresiones los datos faltantes.

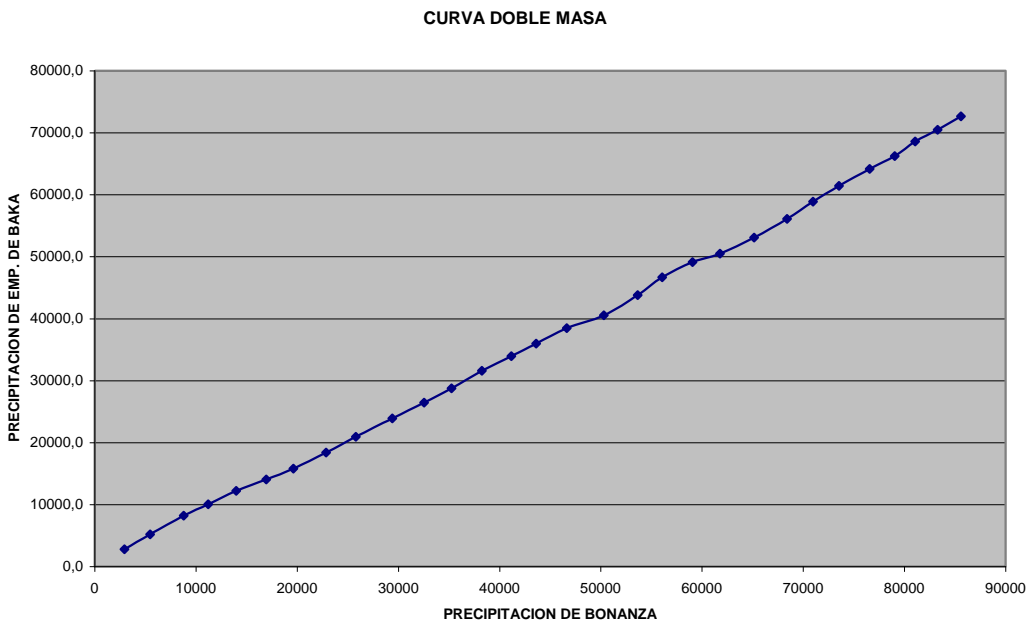
Normalmente se aplicó regresión lineal y regresión múltiple cuando el coeficiente de correlación entre las estaciones consideradas resultó mayor que 0.70, lo que da un margen satisfactorio de seguridad en la calidad de los datos obtenidos.



**GRAFICO N° 3 1**



**GRAFICO N° 3.2**



**GRAFICO N° 3.3**

### 3.4.6. Régimen de Precipitación.

Nicaragua en su posición geográfica, se encuentra ubicado en medio de un estrecho istmo rodeado de dos inmensos océanos. Estos mares, al ser calentados por el sol evaporan gran cantidad de agua que los vientos arrastran en forma de nubes, las que se descargan en lluvias cuando pasan sobre el territorio.

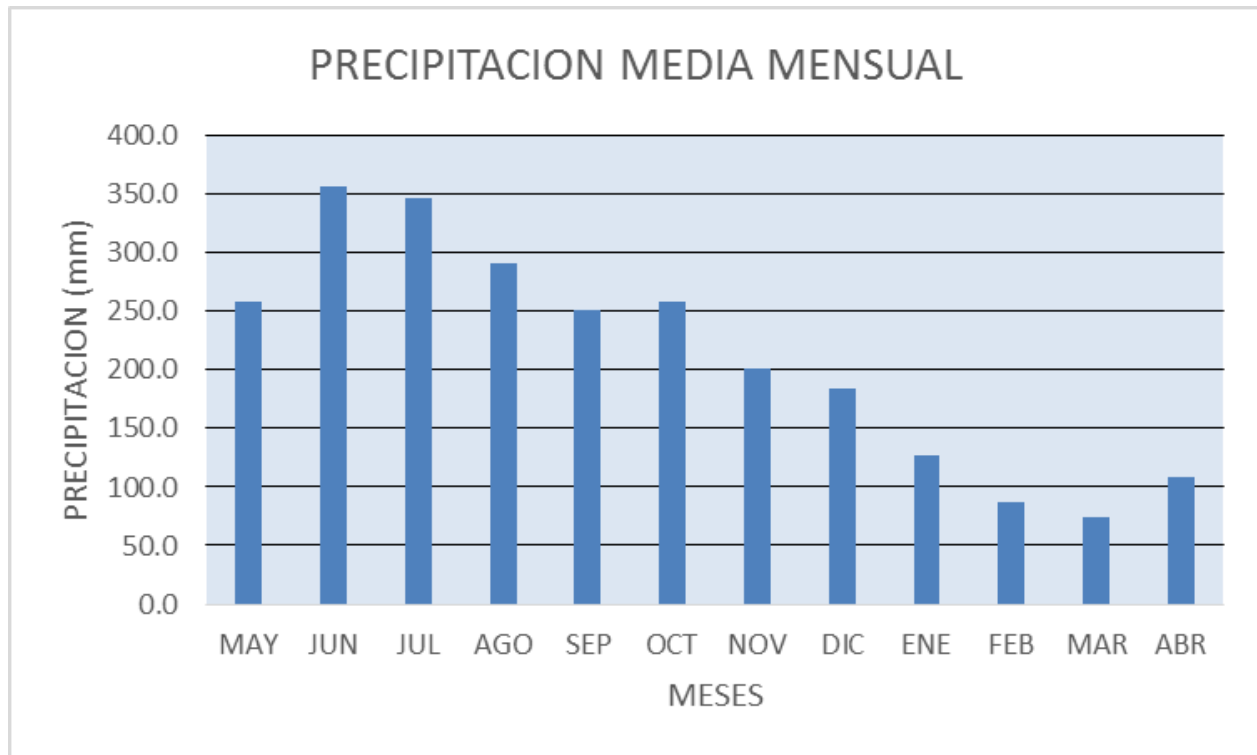
Los vientos que soplan del Este llamados monzones, traen agua evaporadas del mar Caribe; los vientos que proceden del Oeste, llamados *contralisios* o “vientos de abajo” portan agua evaporada del Pacífico. Como los vientos del este son más frecuentes y persistentes, la gran mayoría de las lluvias provienen del Caribe y mojan la Costa Atlántica más que la región del Pacífico.

Por su ubicación geográfica, el área de estudio es afectada por sistemas meteorológicos generadores de lluvias. Entre estos tenemos la influencia de la convergencia intertropical, las ondas del Este y la predominancia de los vientos alisios, que de forma aislada o interactuando entre ellos según la época del año, inducen a la zona masas de aire húmedo proveniente del Océano Atlántico, del Mar Caribe o del Golfo de México.

Estas masas de aire atraviesan una buena parte del territorio nacional con dirección Este-Oeste aproximadamente, que provoca pérdida de humedad en las masas de aire, al circular sobre tierra firme cálida y sobre terreno muy irregular, que incide de forma determinante en el régimen de precipitación.

En el área en el cual se encuentran localizadas las cuencas de los sitios de estudio, el período lluvioso se manifiesta de una forma regular por un período de 9 meses durante el año, con precipitaciones menores de 100 mm en los meses de Febrero, Marzo y Abril, presentándose durante el período de estudio una precipitación media anual de 2,547 mm.

En general, el período lluvioso presenta su valor máximo en el mes de Julio, llegando a presentar un valor promedio de 412 mm y un valor mínimo en el mes de Marzo de 74 mm. Su distribución temporal se puede apreciar en el **Gráfico N° 3.4**



La distribución espacial de la precipitación en el área en el cual se encuentra localizado el sitio objeto de estudio, se puede apreciar en la **Figura N° 3.2**. Los valores de precipitación de las estaciones empleadas para el estudio de la distribución espacial y temporal se reflejan en la **Tabla N° 3.2**.

#### 3.4.7. Régimen Térmico.

La temperatura ambiente y sus variaciones a lo largo del día y entre estaciones tanto en la superficie de la tierra como en la altitud son de valiosa importancia para los planificadores en el momento de catalogar los climas y evaluar los recursos.

Al no existir datos en la zona se utilizaron datos obtenidos de las cuatro estaciones PRECIS utilizadas en la zona de interés para su respectivo análisis y procesamiento de los datos. PRECIS es esencialmente un sistema regional de modelado climático. Se basa en la tercera generación del modelo climático regional del Hadley Center (HadRM3), junto con un procesamiento de datos fácil de usar y una interfaz de visualización. Su diseño flexible permite aplicaciones en cualquier región del mundo. Como cualquier otro modelo climático regional, PRECIS es impulsado por condiciones de frontera simuladas por los modelos de circulación general (MCG).

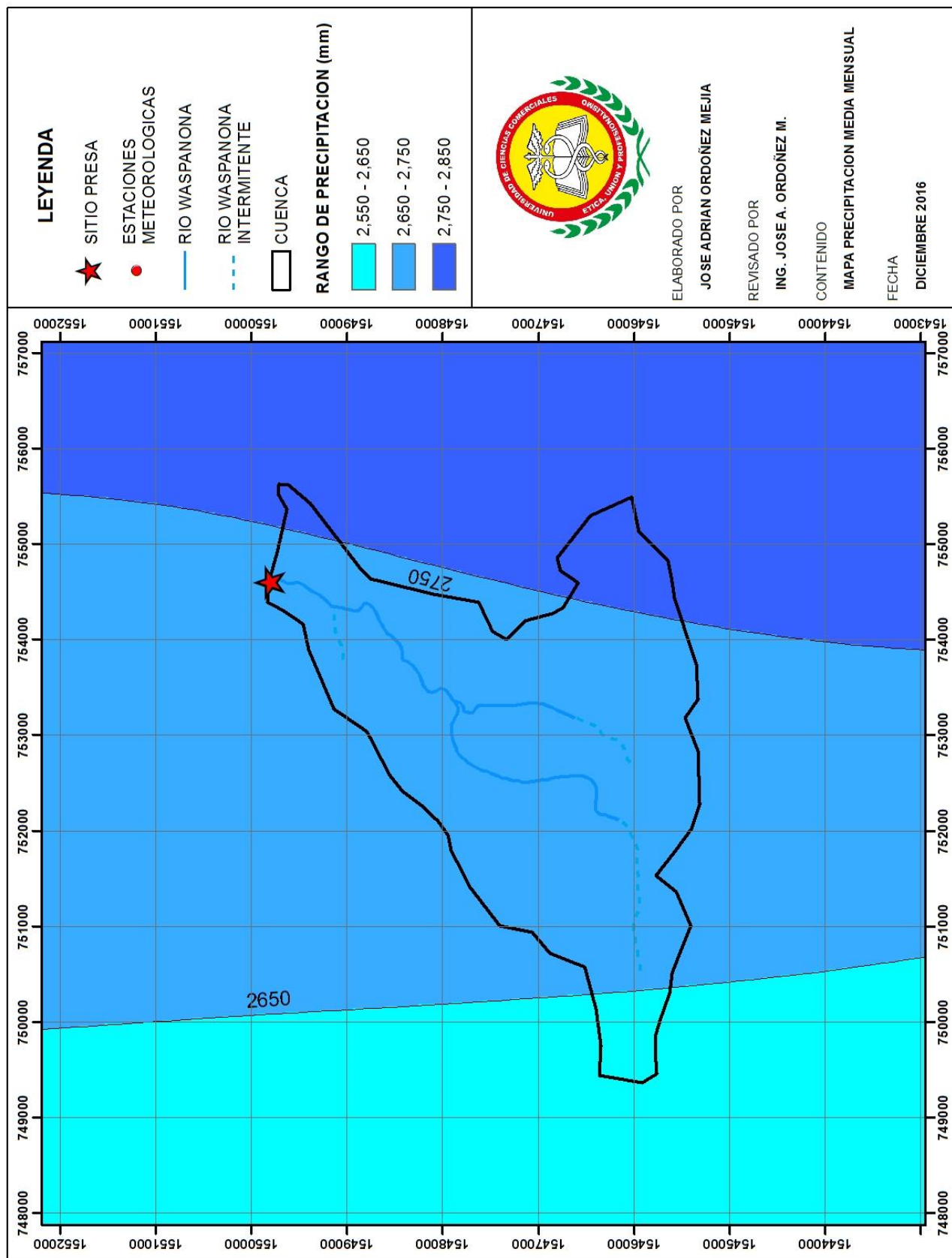
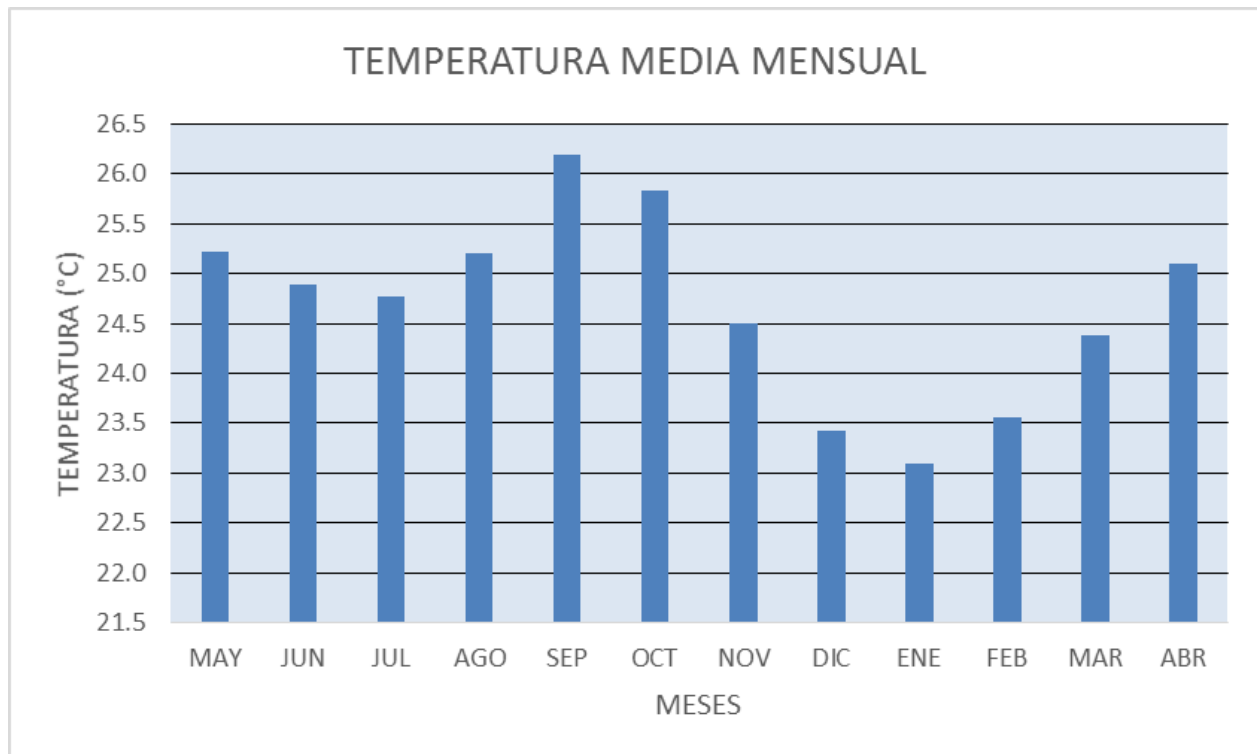


Figura 3.2

En base a los datos de temperatura media mensual determinada para en las estaciones PRECIS, se determina la temperatura media mensual haciendo uso de los resultados que se presentan en la **Tabla N° 3.3**, la cual sirve de base para el análisis de la distribución espacial de la temperatura en la cuenca del sitio objeto de estudio, se puede apreciar en la **Figura N° 3.3**.

Temporalmente la temperatura media anual en el área de estudio en el cual se encuentra la cuenca del sitio, presenta una fluctuación de 22.6°C a 26.6°C, donde podemos observar que la temperatura media más elevada corresponde al mes de Septiembre, mientras que las temperaturas medias más bajas se presentan en los meses de Diciembre a Febrero, coincidiendo con la temporada invernal para los países situado en el Hemisferio Norte Boreal.

La distribución temporal se puede apreciar en el **Gráfico N° 3.5**.



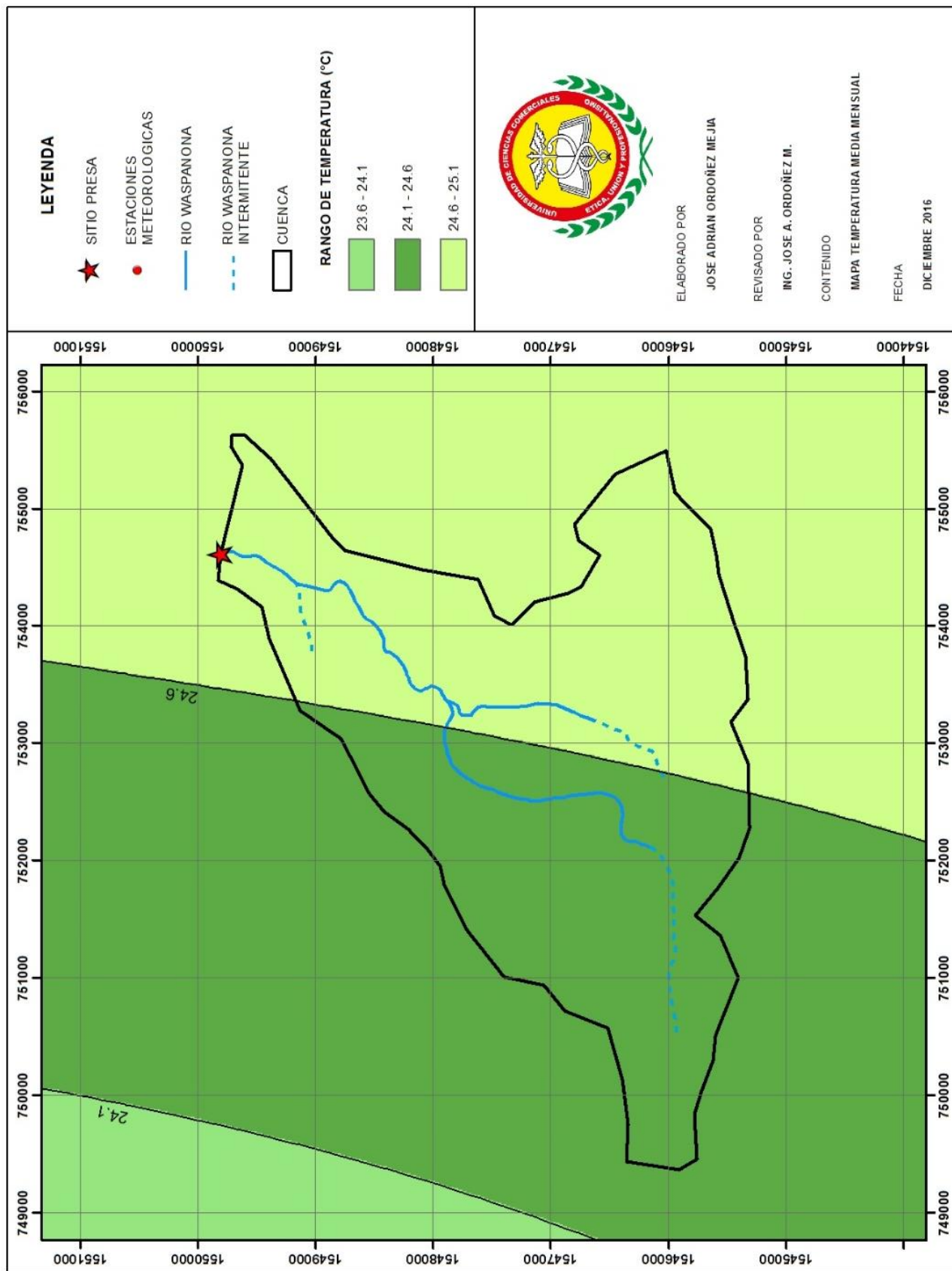


Figura 3.3

Tabla N° 3.2

## Precipitación Media Mensual (Período 1971-2000)

ESTACION	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABRIL	ANUAL
PRECIS 01	237.1	271.6	219	186.8	187.1	221.2	182.8	172.4	99.4	59.8	53.9	106.4	1997.2
PRECIS 02	237.1	271.6	219	186.8	187.1	221.2	182.8	172.4	99.4	59.8	53.9	106.4	1997.2
PRECIS 03	332.4	414.1	374.1	298.1	228.7	265.3	248.5	253.4	157.9	93.2	83	160.5	2909.2
PRECIS 04	307.6	382.7	338.1	282.2	214.2	226.7	204.9	199.3	120.6	74.1	70.4	149.3	2570.2
BONANZA	250	388.4	412.7	354.1	310.3	298	208	180	137.2	111.6	86.1	94.2	2830.7
EMP BAKA	203.2	336.1	374.7	303.5	271.6	247.8	176.1	140.5	114.8	88.3	65.7	71.7	2393.9
SALTO GRANDE	258.1	401.1	425.3	381.6	310.1	314.3	228.5	197.4	151.7	115.9	98.9	100.4	2983.3
ROSITA	244	386.1	414	339	301.9	273.7	181	161.4	136.1	93.7	81.7	84	2696.7
PROMEDIO	258.7	356.5	347.1	291.5	251.4	258.5	201.6	184.6	127.1	87	74.2	109.1	2547.3

Tabla N° 3.3

## Temperatura Media Mensual (Período 1970-2000)

ESTACION	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	ANUAL
PRECIS 01	23.1	22.8	22.7	23.2	24.1	23.6	22.3	21.3	21.0	21.5	22.3	22.9	22.6
PRECIS 02	25.3	25.0	24.9	25.3	26.2	25.9	24.6	23.5	23.2	23.7	24.5	25.2	24.8
PRECIS 03	26.4	26.1	26.0	26.4	27.5	27.2	25.7	24.6	24.2	24.7	25.5	26.2	25.9
PRECIS 04	26.0	25.6	25.5	25.9	27.0	26.7	25.4	24.3	24.0	24.4	25.3	26.0	25.5
PROMEDIO	25.2	24.9	24.8	25.2	26.2	25.8	24.5	23.4	23.1	23.6	24.4	25.1	24.7

### 3.4.8. Evapotranspiración Potencial.

En dependencia de la disponibilidad de información en el área de estudio, **Hargreaves** ha desarrollado una fórmula que permite calcular la Evapotranspiración Potencial en función de la temperatura media, la humedad relativa media al medio día y la duración del día dependiente de la latitud. También ha desarrollado otra fórmula que permite determinar la Evapotranspiración Potencial, utilizando como fuente de energía la radiación solar, temperatura ambiente y energía advectiva resultando de la transferencia de calor sensible, desde lo que rodea al aire hasta el cultivo o vegetación.

En nuestro caso en el cual prácticamente contamos como información la temperatura media mensual para determinar la Evapotranspiración Potencial, se hará uso de la fórmula que utiliza como fuente de energía: la radiación solar, temperatura ambiente y energía advectiva.

La radiación solar incidente, **RSI**, puede ser calculada de los valores tabulados de radiación extraterrestre, **RMM**, equivalente en mm de evaporación de agua por mes y del porcentaje de posible brillo solar, **S**, que ocurre en un lugar dado. La ecuación para la conversión de **RMM** a **RSI** dado por la diferencia en el porcentaje de brillo solar puede ser escrita de la siguiente forma:

$$\mathbf{RSI = 0.075RMM * S^{1/2}}$$

El porcentaje de posible brillo solar, **S**, se determina de la duración actual del brillo en horas, **SH**, de la longitud del día, **DL**, y del número de días en el mes, **DM**. La ecuación es la siguiente:

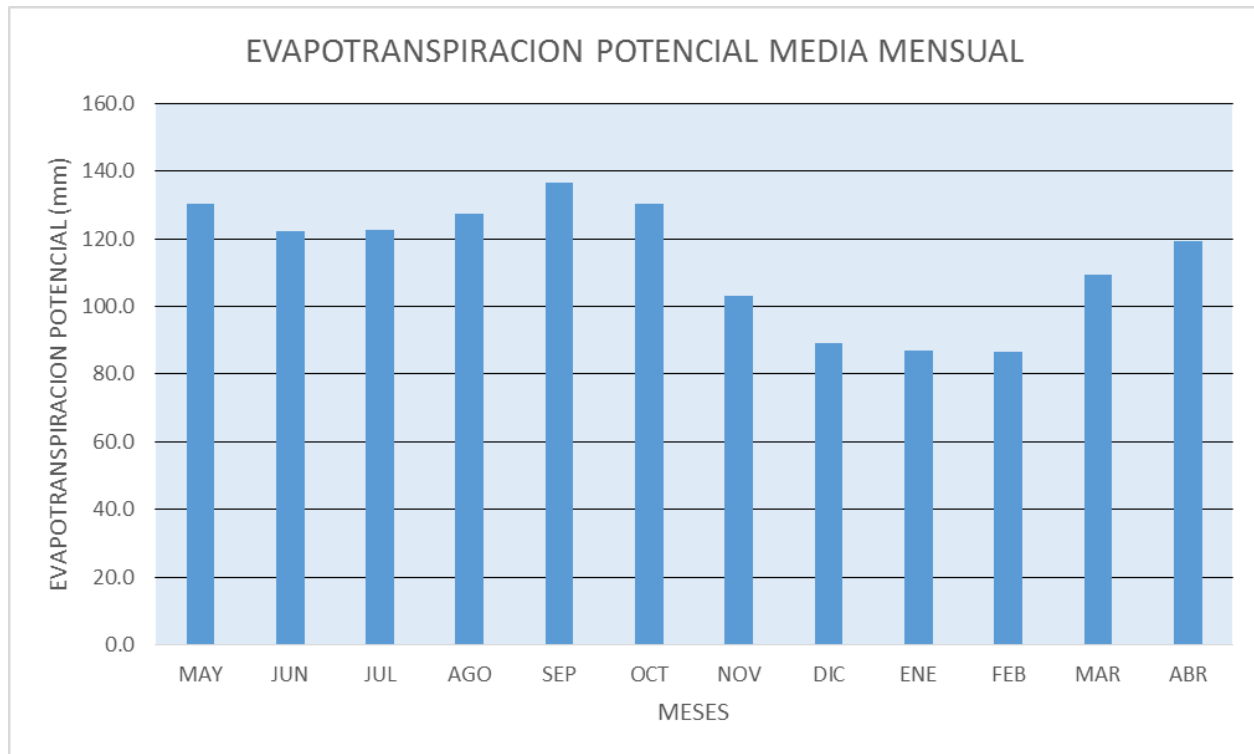
$$\mathbf{S = 100 SH/DL}$$

La Evapotranspiración Potencial, **ETP**, en mm puede ser estimada directamente usando los datos para cada estación, de la temperatura media en grados Fahrenheit **TMF**, y la radiación solar incidente, **RSI**. Los valores de **ETP** en mm por mes se dan por medio de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{ETP = 0.0075RSI * TMF}$$

En estudios realizados de la Evapotranspiración Potencial donde se cuenta con información de evaporación de pana, se ha analizado el comportamiento de valores de ETP calculados por estos métodos con relación a valores medidos de evaporación de pana, donde se ha observado que el método de **Hargreaves** se ajusta más al comportamiento de la evaporación de pana. Además, en estudios realizados en estas áreas se ha demostrado que los valores obtenidos por el método de **Hargreaves** parece ser más confiable que la aplicación de **Thornthwaite**, razón por lo cual se decide utilizar el método de **Hargreaves**.

Los resultados obtenidos para cada una de las estaciones consideradas en el estudio, se concretizan en la **Tabla N° 3.4**, donde se presentan los valores promedios del período seleccionado, para cada una de las estaciones, y además, se puede apreciar la distribución temporal de este parámetro en toda el área, en que se encuentra localizado el sitio. (Ver **Gráfico N° 3.6**)



La **Tabla N°3.4** sirve de base para determinar la distribución espacial de la Evapotranspiración Potencial en la cuenca del sitio en estudio, cuyo resultado se reflejan en la **Figuras N° 3.4**.

**Tabla N° 3.4**

**Evapotranspiración Potencial Media Mensual (Período 1971-2015)**

ESTACION	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	ANUAL
PRECIS 01	104.0	99.3	100.1	103.3	107.6	101.7	82.2	73.1	72.0	71.0	88.2	95.0	1097.5
PRECIS 02	129.3	121.7	122.5	127.2	134.3	127.7	101.9	88.3	86.5	86.1	108.5	119.2	1353.2
PRECIS 03	147.1	138.0	137.8	143.5	157.8	150.5	116.5	98.7	95.5	95.2	121.7	133.5	1535.7
PRECIS 04	140.2	130.2	130.3	135.5	147.1	142.0	112.4	96.3	93.9	93.4	118.6	129.9	1469.8
PROMEDIO	130.2	122.3	122.7	127.4	136.7	130.5	103.2	89.1	87.0	86.5	109.2	119.4	1364.1

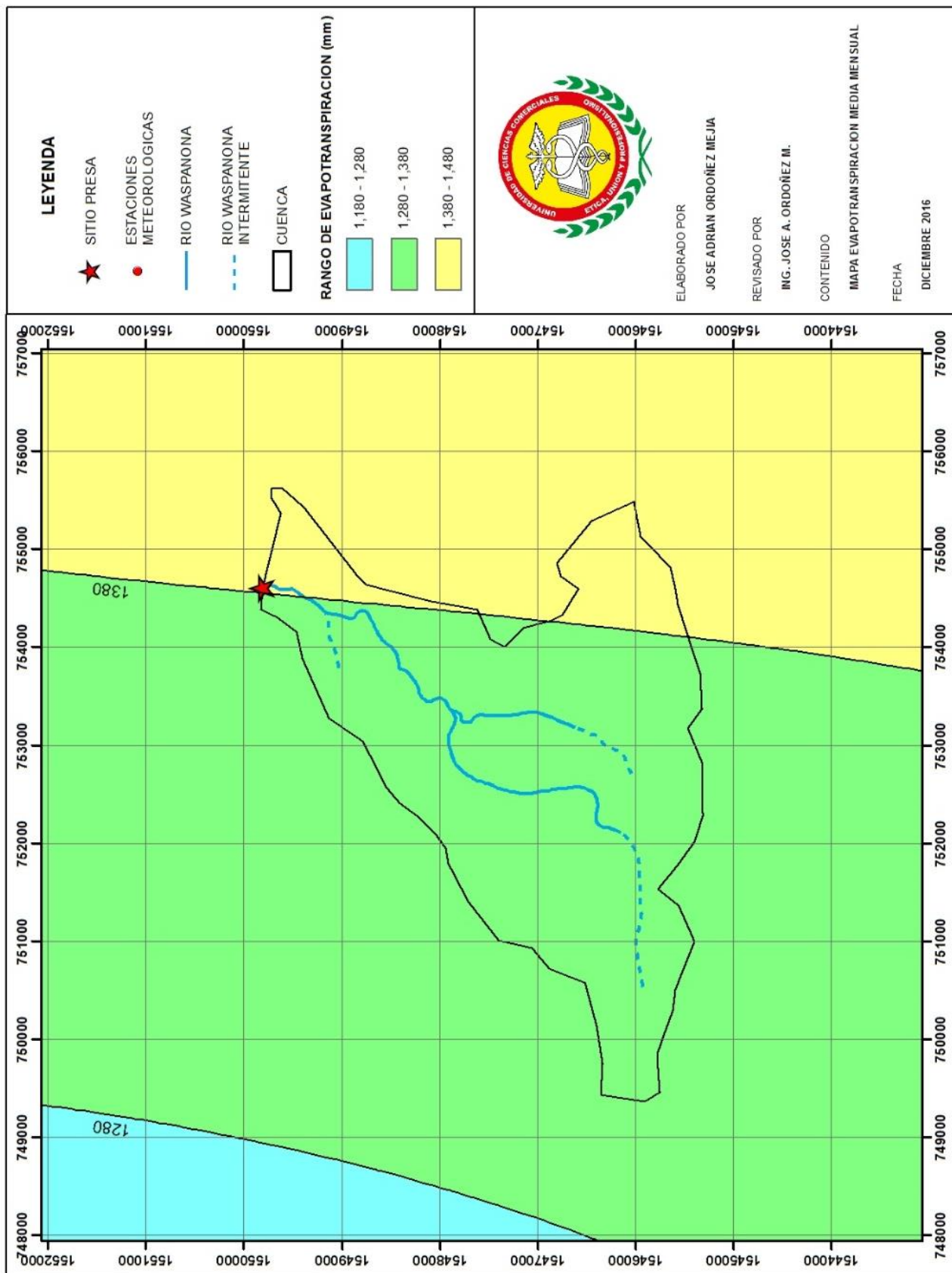


Figura 3.4

### **3.5. Determinación de Caudales Medios.**

La determinación de la cantidad de agua que dispone un río en un punto dado, está vinculado a las condiciones físicas de su cuenca de drenaje y a las condiciones imperantes en la región.

La mayor certeza de la cuantificación del recurso hídrico de una sección del río, se representa cuando se dispone tanto de secciones de control (Estaciones Hidrométricas) que proporcionan la información estadística, conjugando las condiciones señaladas, cuantificadas y registradas en los valores de caudales que pasan por dicha sección, como puntos con registros meteorológicos y conocimiento de las características físicas de las cuencas de drenaje.

No siempre es posible disponer de esta información conjuntamente, y en muchos casos, es necesario evaluar el recurso hídrico en un punto de un río careciendo del conocimiento de una o de todas las condiciones. Para nuestro caso, la cuenca del río Waspanona, en su interior no cuenta con estaciones hidrometeorológicas e hidrométricas que registren los parámetros climatológicos imperantes en el área, para evaluar el recurso hídrico en el punto de interés, objeto de este estudio, por lo que se tiene que recurrir a las estadísticas de las estaciones próximas a las cuencas de los ríos antes mencionados.

Producto de los resultados de la visita realizada por El Consultor, teniendo como objetivo el reconocimiento del sitio propuesto a ser estudiado inicialmente, surge la necesidad de hacer una evaluación preliminar de las bondades que presenta el sitio, para lo cual se requiere hacer un estimado preliminar de las disponibilidades hídricas, ya que la factibilidad técnica de un proyecto hidroeléctrico se basa fundamentalmente en sus disponibilidades hídricas. Es por eso que la evaluación de los recursos hidrológicos está revestida de gran importancia en el desarrollo de este proyecto.

De acuerdo a los objetivos propuestos inicialmente, de hacer en un período corto de tiempo con la información hidrometeorológica disponible en el área y de la información levantada en el terreno, los análisis preliminares, se procede el estimado de los caudales medios anuales empleando los métodos de Holdridge y Guisti – López.

### 3.5.1. Selección de Información.

Para la selección de la información de precipitación a utilizar en el estimado de los caudales medios, se realiza un análisis de la distribución espacial de las estaciones que miden este parámetro, en el área en que se encuentra localizado el sitio, para procurar una mayor representatividad y una mayor aproximación a la realidad del comportamiento de este parámetro climatológico, tomando en consideración también el período de registro de cada estación. Las estaciones se presentan en la **Tabla N° 3.1.**

### 3.5.2. Análisis de la Información.

Una de las características de los datos de las series seleccionadas, es la carencia de algunos datos que por diversas razones no están registrados. Para resolver esta situación presentada, se procede a establecer coeficientes de correlaciones entre estaciones de forma mensual, para determinar mediante regresiones lineales los datos faltantes de precipitación.

Para el relleno de los datos faltantes en las estaciones de Bonanza y Rosita, se realiza una correlación lineal a nivel mensual entre ellas, dando como resultado lo siguiente:  $Bonanza = 60.2917 + 0.769616 * Rosita$  con un coeficiente de correlación de 0.7995.

Una vez relleno los datos de la estación de Bonanza, se procede al análisis de correlación con la estación de Salto Grande, obteniendo como resultado la siguiente ecuación:  $Salto Grande = 15.3264 + 0.997138 * Bonanza$ , con un coeficiente de correlación  $r = 0.9279$ .

Para rellenar los datos faltantes de la estación Empalme de Baka se correlaciona con la estación de Rosita, obteniéndose la siguiente ecuación:  $Emp. De Baka = 26.1388 + 0.785869 * Rosita$  con un coeficiente de correlación  $r = 0.8397$ .

Los valores de precipitación mensual registrados en el período de 1971-72 a 2014-15 en las estaciones seleccionadas, se presentan en las Tablas N° 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 respectivamente.

Una vez realizado el relleno de datos faltantes y el análisis de consistencia de la información de precipitación, que servirá de base para el estimado del caudal medio en el sitio, se procede a la aplicación de cada uno de los métodos seleccionados.

### 3.5.3. Método de Holdridge.

Por la naturaleza del análisis de hacer una evaluación de los sitios en un período corto de tiempo, la disponibilidad de información en el área, se procede a la aplicación del Método de Holdridge, como uno de los métodos para estimar el caudal medio anual en cada uno de los sitios a evaluar.

En el libro Ecología basada en zonas de Vida, Holdridge propone un método que ha probado dar buenos resultados a partir de criterios ecológicos, dado que las especies vegetales, su exuberancia y tamaño están íntimamente relacionados, con la temperatura y humedad disponible para su crecimiento. En otras palabras, la humedad y el calor son factores limitantes de la vegetación característica de una zona de vida, y puesto que la Evapotranspiración Potencial depende de la vegetación, es posible calcularla a partir de las relaciones antes citadas.

Para calcular la evapotranspiración potencial, Holdridge da la siguiente fórmula, para valores anuales

$$ETP = 58.93 * tb.$$

Donde:

ETP está dada en Mm. / año

tb es la biotemperatura anual

**TABLA N° 3.5**  
**ESTACION: PRECIS 01**

AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	SUMA
1971-72	796.5	445.0	526.2	244.0	296.9	225.1	259.2	242.0	183.3	132.4	45.6	126.8	3523.1
1972-73	50.7	28.8	74.8	54.9	100.1	222.3	201.7	111.4	43.3	80.0	54.6	118.0	1140.6
1973-74	362.8	362.2	243.3	143.6	126.6	244.4	210.9	264.2	60.9	75.4	16.7	4.8	2115.7
1974-75	75.0	136.5	121.9	87.6	143.3	331.2	146.8	81.2	111.9	22.7	61.4	88.3	1408.0
1975-76	377.7	349.5	381.4	279.8	167.1	307.5	174.2	274.2	162.6	73.3	81.3	46.2	2674.7
1976-77	46.1	257.3	248.8	190.4	145.1	248.5	218.5	376.9	65.8	26.0	46.4	109.2	1979.1
1977-78	150.0	262.7	348.4	164.3	155.5	220.5	292.5	204.7	120.3	71.6	30.7	165.3	2186.5
1978-79	236.6	739.1	391.6	322.3	225.0	333.6	217.8	296.5	71.1	30.4	101.6	161.9	3127.5
1979-80	111.5	210.2	220.2	319.6	128.8	256.8	254.4	317.0	50.9	31.0	31.6	101.2	2032.9
1980-81	184.5	180.9	255.0	167.0	147.6	222.9	107.5	166.8	75.1	167.3	16.0	16.5	1707.0
1981-82	152.2	110.7	116.6	128.7	184.6	184.6	141.7	108.6	140.8	64.0	31.3	139.0	1502.8
1982-83	82.6	166.9	241.0	210.3	169.4	273.3	628.0	118.2	36.8	63.5	32.9	375.4	2398.3
1983-84	533.0	463.2	174.4	203.2	193.1	319.6	137.5	234.1	144.9	111.7	69.7	153.0	2737.4
1984-85	628.9	344.6	396.7	341.7	285.9	300.3	712.3	216.9	54.8	63.1	98.9	163.2	3607.2
1985-86	185.9	174.7	168.0	198.8	139.8	218.9	287.5	200.0	178.3	65.9	71.3	72.4	1961.4
1986-87	127.9	85.7	149.2	275.0	186.0	522.1	351.5	226.4	92.6	71.0	28.7	209.8	2325.7
1987-88	126.2	266.4	154.8	174.1	121.8	473.8	328.7	219.3	184.2	77.5	90.1	198.7	2415.3
1988-89	154.2	303.7	239.4	200.6	157.2	93.2	99.2	188.7	48.8	96.7	27.9	41.5	1651.0
1989-90	458.1	421.6	395.2	361.5	310.6	204.9	160.6	345.2	171.9	68.9	164.7	96.0	3159.1
1990-91	335.2	357.4	273.3	290.8	231.5	465.2	165.6	107.3	144.8	86.8	114.7	144.1	2716.7
1991-92	413.1	344.8	343.2	250.8	245.3	157.4	229.6	161.7	66.9	153.6	26.8	181.7	2574.9
1992-93	455.6	178.5	247.9	246.3	181.2	339.3	188.5	74.7	41.6	39.0	37.8	90.5	2120.7
1993-94	164.1	179.2	211.3	134.7	172.3	245.9	298.6	169.8	147.0	147.8	75.0	69.0	2014.7
1994-95	69.2	185.5	158.2	188.9	223.5	245.7	215.3	167.2	93.0	49.6	33.4	76.0	1705.4
1995-96	109.5	317.8	422.0	219.6	155.5	213.2	181.9	285.0	99.4	55.8	52.3	126.4	2238.5
1996-97	120.6	307.1	260.7	220.3	190.8	189.3	288.9	218.1	340.9	77.6	59.6	97.1	2371.0
1997-98	138.2	268.1	324.2	300.8	382.6	387.8	148.6	193.1	784.5	205.3	138.0	143.0	3414.1
1998-99	44.1	141.6	154.4	179.5	180.7	260.4	280.2	642.7	95.7	50.7	33.9	55.9	2119.7
1999-00	346.3	167.6	170.2	306.2	167.6	229.1	157.0	116.9	59.0	162.9	96.4	94.6	2073.6
2000-01	451.0	679.9	233.7	82.4	261.7	296.4	503.7	459.1	255.7	127.4	285.4	244.7	3881.1
2001-02	461.1	473.8	412.2	221.7	163.8	215.0	237.2	102.1	215.2	83.0	52.7	171.4	2809.2
2002-03	588.7	844.6	303.5	156.6	288.5	231.7	202.5	292.1	86.3	26.9	9.7	11.4	3042.4
2003-04	200.7	283.6	264.1	170.3	161.0	135.5	116.1	216.4	173.8	63.1	63.0	140.0	1987.5
2004-05	320.3	446.5	336.0	245.7	212.8	251.3	374.1	344.5	235.3	43.4	142.0	87.1	3038.9
2005-06	379.6	413.8	398.8	205.1	181.6	306.5	200.4	306.5	43.7	47.5	10.7	116.6	2610.8
2006-07	107.6	217.9	163.9	170.9	144.8	170.0	165.2	139.5	150.1	28.9	232.7	277.9	1969.3
2007-08	315.6	433.8	227.1	408.5	231.1	359.3	255.9	298.3	94.3	139.0	66.7	84.2	2913.5
2008-09	258.8	597.3	334.4	210.1	175.2	187.3	636.1	295.5	108.2	123.1	125.9	61.1	3113.0
2009-10	222.3	253.0	379.5	312.5	339.6	281.0	50.0	242.8	65.9	49.6	49.6	124.0	2369.6
2010-11	149.0	200.3	291.8	134.6	177.7	235.7	164.3	398.9	68.5	62.6	28.3	89.9	2001.6
2011-12	483.5	451.9	395.7	173.5	230.1	299.8	50.7	292.9	269.7	150.8	86.4	55.4	2940.3
2012-13	199.8	306.0	329.3	330.2	155.8	215.0	319.6	331.5	151.2	47.8	68.7	186.9	2641.9
2013-14	292.9	323.7	412.2	203.1	229.8	247.9	257.0	339.3	185.5	193.2	80.3	301.9	3066.5
2014-15	118.9	149.4	187.6	169.2	146.5	303.9	114.3	285.4	530.7	99.7	25.6	20.7	2151.8
PROM	263.3	314.4	274.6	218.2	195.8	265.3	243.9	242.6	147.8	84.3	70.4	123.6	2444.1

**TABLA N° 3.6**  
**ESTACION: PRECIS 02**

AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	SUMA
1971-72	813.0	403.9	408.3	171.0	270.6	145.3	189.9	152.6	130.6	109.1	32.1	97.7	2924.1
1972-73	43.1	30.1	65.7	48.4	108.2	193.4	111.1	79.5	31.4	71.3	38.6	138.7	959.4
1973-74	317.3	292.3	221.3	130.9	132.4	213.7	164.4	190.4	40.5	56.2	12.7	5.0	1776.9
1974-75	67.8	95.8	104.3	77.2	142.2	330.4	92.7	39.6	54.2	18.0	38.0	135.0	1195.2
1975-76	287.8	343.2	283.1	200.5	171.0	221.2	118.9	246.3	100.5	51.9	51.9	37.4	2113.7
1976-77	53.3	227.0	182.7	164.3	139.9	225.9	139.4	391.5	41.9	16.0	31.9	73.3	1687.0
1977-78	163.8	227.5	300.8	186.2	167.3	177.3	211.9	110.9	64.5	42.3	25.4	155.7	1833.6
1978-79	253.9	535.8	275.8	258.1	196.0	295.3	134.3	204.4	44.0	29.2	80.5	124.3	2431.5
1979-80	82.5	169.6	172.0	215.4	116.9	199.5	155.5	240.1	35.2	20.2	22.1	94.8	1523.6
1980-81	149.6	164.8	193.5	146.7	153.3	221.9	72.2	107.6	72.8	109.8	12.6	10.1	1414.8
1981-82	152.2	99.4	102.0	123.7	178.4	173.3	90.2	65.2	72.4	51.7	21.7	114.9	1245.1
1982-83	99.2	139.8	181.4	168.1	189.4	220.2	550.5	77.8	23.5	40.7	21.8	440.9	2153.2
1983-84	440.1	365.5	157.5	158.4	170.3	252.7	107.9	139.6	86.6	79.7	53.4	114.2	2125.8
1984-85	577.7	350.9	304.8	345.7	214.8	228.8	602.1	149.1	28.6	43.4	59.2	160.4	3065.6
1985-86	120.2	136.8	142.3	161.0	150.5	228.6	175.1	133.6	96.3	37.3	51.8	50.3	1483.7
1986-87	146.3	83.0	144.1	225.5	179.4	430.7	290.3	173.0	63.8	55.0	21.1	292.4	2104.4
1987-88	100.4	225.9	115.8	141.9	133.9	358.0	259.5	166.8	156.7	49.9	70.0	157.1	1935.8
1988-89	147.5	295.7	218.1	196.1	152.0	97.8	66.8	114.6	31.7	67.3	22.1	35.3	1445.1
1989-90	430.2	421.0	291.0	289.4	234.9	158.9	138.9	222.8	110.6	65.0	129.6	74.2	2566.2
1990-91	285.7	285.5	248.7	220.4	213.5	284.0	99.6	67.6	97.9	53.0	111.3	103.4	2070.6
1991-92	306.5	328.9	252.8	193.9	189.5	138.4	157.5	89.4	54.4	157.1	15.6	151.4	2035.1
1992-93	372.9	179.6	226.9	212.2	142.2	292.0	170.5	32.2	21.7	21.6	61.7	65.6	1799.1
1993-94	154.1	163.0	159.7	99.2	192.9	193.0	233.3	106.3	77.2	82.9	53.8	46.7	1561.9
1994-95	57.4	151.8	148.2	179.7	177.7	212.7	131.7	120.2	46.6	28.8	23.9	55.3	1333.8
1995-96	110.2	263.6	293.8	162.7	158.0	186.6	121.5	173.8	70.5	31.2	45.8	94.7	1712.3
1996-97	129.0	291.4	211.6	181.1	185.8	173.0	266.7	168.0	260.6	64.6	51.4	91.3	2074.5
1997-98	144.9	224.6	301.1	231.0	415.1	328.2	135.3	125.5	584.5	119.4	98.1	115.4	2823.0
1998-99	37.9	140.2	140.2	186.2	187.8	233.1	187.1	686.3	55.0	37.1	28.1	56.2	1975.2
1999-00	327.1	171.1	158.5	257.6	149.1	127.2	93.3	61.7	39.6	145.4	65.0	85.8	1681.3
2000-01	437.4	552.9	178.8	83.4	235.7	248.6	349.5	356.5	159.3	70.7	192.8	176.2	3041.8
2001-02	417.9	387.3	292.9	157.2	148.3	192.2	190.3	71.1	132.5	40.1	31.7	159.3	2220.7
2002-03	507.4	637.9	222.4	144.1	257.4	196.7	138.2	165.7	57.0	14.0	9.2	7.1	2357.1
2003-04	197.0	207.0	183.4	142.3	148.1	128.5	95.7	121.2	114.5	38.6	50.8	106.0	1533.1
2004-05	287.8	320.1	287.1	219.7	224.9	173.5	270.5	224.7	181.8	25.9	75.0	63.1	2354.3
2005-06	271.9	331.3	279.0	168.7	175.5	255.1	139.5	192.0	26.5	30.5	8.0	87.6	1965.4
2006-07	92.9	220.0	122.1	163.2	144.0	146.1	140.5	143.9	87.6	16.8	266.1	204.5	1747.7
2007-08	223.0	362.9	200.4	320.4	243.9	330.6	177.8	210.6	55.1	84.1	49.9	66.0	2324.6
2008-09	207.3	524.4	281.7	162.5	166.8	171.0	612.2	223.9	73.1	100.4	81.8	49.3	2654.3
2009-10	316.7	274.1	311.2	375.9	317.0	261.4	35.4	150.3	37.9	34.2	39.8	83.8	2237.5
2010-11	130.9	191.0	212.2	134.5	143.2	183.2	106.9	292.4	36.7	36.6	26.2	65.6	1559.5
2011-12	427.2	455.7	294.6	171.1	223.4	257.7	38.8	160.8	185.4	117.1	70.9	48.0	2450.6
2012-13	191.8	254.7	289.9	276.4	154.8	201.1	231.5	230.4	98.5	35.2	54.6	163.3	2182.2
2013-14	245.2	274.8	293.7	211.1	241.0	198.6	176.5	239.4	131.4	158.3	46.8	204.6	2421.4
2014-15	107.7	147.4	179.1	158.0	194.2	248.5	71.2	164.8	400.9	72.0	15.0	18.7	1777.4
PROM	237.1	271.6	219.0	186.8	187.1	221.2	182.8	172.4	99.4	59.8	53.9	106.4	1997.2

**TABLA N° 3.7**  
**ESTACION: PRECIS 03**

<b>AÑO</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>SUMA</b>
1971-72	856.2	485.0	651.3	358.4	361.1	238.9	189.1	301.6	233.0	172.6	49.9	181.5	4078.6
1972-73	105.3	46.5	132.0	87.2	102.1	256.8	179.4	139.7	43.1	82.3	46.3	162.1	1382.6
1973-74	398.4	418.3	370.3	218.6	149.5	249.8	289.4	359.7	98.8	105.4	14.3	10.7	2683.1
1974-75	107.3	220.2	207.3	144.0	212.8	280.6	145.9	90.8	97.3	25.9	44.3	142.0	1718.4
1975-76	496.4	402.2	465.6	348.7	200.7	275.3	177.5	292.6	126.3	114.1	101.1	72.8	3073.1
1976-77	89.2	396.9	348.9	274.1	218.0	278.0	250.4	406.6	78.3	35.7	39.1	142.9	2558.1
1977-78	219.5	360.0	457.0	270.8	204.4	252.5	307.8	198.5	142.4	75.5	23.1	209.8	2721.0
1978-79	378.0	778.5	480.6	431.9	300.5	326.3	243.4	317.4	79.3	39.3	169.2	175.1	3719.4
1979-80	165.0	307.1	328.7	397.1	195.4	329.2	224.7	343.5	53.3	36.7	43.9	126.8	2551.4
1980-81	275.5	299.0	369.2	222.3	196.2	191.9	108.2	165.0	97.1	223.9	27.5	17.7	2193.4
1981-82	221.1	196.1	195.1	178.6	199.1	182.9	144.0	112.6	156.7	55.2	26.6	173.6	1841.6
1982-83	130.8	246.6	321.0	328.4	195.3	251.1	658.8	159.7	43.1	52.5	31.7	487.3	2906.5
1983-84	509.5	552.6	235.9	294.0	237.8	315.7	142.7	174.4	174.2	135.3	89.7	195.9	3057.7
1984-85	763.7	428.9	536.8	421.9	292.9	290.6	837.7	266.8	58.8	88.1	105.8	233.4	4325.2
1985-86	232.3	260.6	277.1	289.6	134.0	204.4	252.4	234.9	187.8	72.5	87.7	54.3	2287.6
1986-87	164.1	163.4	254.1	381.2	274.9	557.2	324.5	256.0	124.5	106.9	41.7	241.3	2889.9
1987-88	201.0	393.5	232.7	247.4	193.0	553.1	262.7	207.6	208.4	76.8	131.3	270.1	2977.7
1988-89	165.7	390.0	314.8	301.4	183.8	126.1	106.6	160.6	50.3	79.5	21.5	50.5	1950.5
1989-90	618.5	497.2	572.2	459.6	345.1	246.8	169.1	303.9	199.1	54.6	174.2	121.4	3761.6
1990-91	402.1	435.6	404.8	381.8	245.1	525.0	143.4	130.0	191.7	70.1	144.7	164.8	3239.2
1991-92	467.7	502.8	447.4	334.5	355.0	167.7	196.7	175.6	75.4	155.9	28.2	183.3	3090.3
1992-93	577.6	309.9	339.2	336.7	206.4	338.0	173.2	82.2	48.2	58.8	22.4	116.9	2609.3
1993-94	248.1	339.6	280.9	184.0	174.7	287.6	288.1	163.9	120.8	143.8	114.7	89.0	2435.2
1994-95	93.0	262.4	254.5	282.9	302.9	194.5	238.6	160.1	75.1	73.6	34.8	103.1	2075.3
1995-96	173.9	426.3	513.8	340.4	236.4	190.3	160.7	232.1	117.7	79.4	36.7	170.8	2678.5
1996-97	177.3	397.5	351.4	300.5	172.6	165.2	313.0	259.0	300.7	101.0	93.9	110.7	2742.7
1997-98	236.7	370.9	386.7	388.6	362.3	360.4	155.4	180.5	727.2	202.6	171.4	213.4	3755.9
1998-99	81.0	230.1	254.4	249.9	169.8	244.7	306.4	928.0	125.5	51.0	48.9	62.7	2752.2
1999-00	468.4	214.7	269.3	403.0	194.5	220.1	150.2	100.1	85.7	126.7	109.4	157.8	2499.8
2000-01	507.7	905.1	346.4	107.5	294.0	322.1	380.1	455.0	291.4	158.6	291.3	307.5	4366.6
2001-02	588.8	612.6	554.1	303.7	243.0	198.8	286.3	111.8	213.6	82.7	69.4	250.0	3514.8
2002-03	692.7	1071.0	430.1	261.4	318.6	240.5	242.4	233.9	100.2	25.3	10.7	17.3	3644.0
2003-04	229.4	361.1	319.1	256.6	214.8	163.0	112.9	230.2	162.3	71.4	43.3	172.2	2336.4
2004-05	410.7	547.5	422.4	326.3	233.4	220.0	417.2	403.7	212.9	51.4	175.1	117.6	3538.1
2005-06	385.2	535.8	519.4	306.3	241.4	282.4	156.9	273.4	62.8	53.0	15.7	106.3	2938.6
2006-07	199.9	331.3	243.5	231.7	135.1	162.8	186.1	145.9	160.9	37.3	269.3	418.6	2522.2
2007-08	328.6	568.6	334.5	512.1	231.9	358.3	200.9	329.6	67.7	143.5	102.7	102.0	3280.4
2008-09	313.5	668.6	467.6	290.1	247.6	193.0	838.8	368.0	106.0	104.5	160.8	77.0	3835.4
2009-10	226.6	323.1	438.1	379.1	322.6	213.0	34.1	217.3	82.1	58.1	70.8	146.3	2511.1
2010-11	212.5	291.2	364.6	214.9	156.4	207.1	168.2	385.5	48.0	59.3	33.9	102.6	2244.2
2011-12	694.4	559.6	529.7	266.1	205.0	282.4	49.1	187.8	305.4	184.1	124.9	103.6	3492.0
2012-13	185.6	385.9	443.2	306.8	183.0	217.1	354.3	290.3	157.7	41.5	59.5	258.8	2883.5
2013-14	414.3	441.6	523.2	277.0	237.6	230.7	266.8	326.6	221.8	194.1	114.5	408.8	3657.1
2014-15	211.6	285.2	272.9	217.9	183.9	281.2	101.0	289.3	635.8	139.0	34.9	34.2	2686.9
PROM	332.4	414.1	374.1	298.1	228.7	265.3	248.5	253.4	157.9	93.2	83.0	160.5	2909.2

**TABLA N° 3.8**  
**ESTACION: PRECIS 04**

AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	SUMA
1971-72	876.8	447.9	581.1	306.1	364.5	200.0	187.6	231.9	173.9	165.3	37.6	154.6	3727.2
1972-73	95.3	50.6	142.0	87.3	96.0	210.5	148.9	111.2	45.9	69.8	34.8	139.5	1231.7
1973-74	378.0	383.1	352.8	211.7	166.5	244.8	241.0	309.7	91.9	92.0	14.5	12.7	2498.7
1974-75	113.5	188.4	190.6	152.5	189.4	294.2	101.4	74.8	70.3	23.8	24.2	220.4	1643.4
1975-76	410.3	384.5	394.5	328.6	215.9	225.2	157.8	236.0	99.5	100.1	89.4	81.0	2722.8
1976-77	106.3	369.9	309.9	269.5	217.2	245.6	232.9	427.1	60.9	28.6	27.8	134.3	2429.9
1977-78	240.6	338.0	439.9	285.9	207.5	217.9	256.7	136.1	113.5	50.9	22.4	222.2	2531.6
1978-79	334.0	681.6	422.0	414.1	293.9	287.6	193.1	240.3	70.7	38.7	150.6	144.8	3271.2
1979-80	135.5	295.8	301.4	364.6	188.2	284.7	201.0	267.2	43.0	27.1	38.3	117.4	2264.0
1980-81	259.8	288.9	323.6	216.4	199.9	190.5	74.3	114.4	95.9	137.3	29.4	14.6	1945.0
1981-82	230.9	194.2	202.7	174.2	181.0	158.6	112.0	91.3	110.1	39.4	14.7	156.9	1666.0
1982-83	116.2	233.8	286.8	290.1	195.8	238.1	608.1	136.2	29.6	43.2	20.0	494.2	2692.0
1983-84	472.9	497.0	230.7	255.4	187.2	257.6	114.4	105.1	130.5	110.6	74.1	172.9	2608.3
1984-85	702.2	423.0	476.9	414.8	217.0	250.4	666.4	210.4	39.7	78.1	93.4	238.2	3810.5
1985-86	189.7	238.5	253.2	270.1	140.8	198.7	217.7	182.5	148.7	53.7	75.0	45.9	2014.3
1986-87	173.9	172.0	246.0	369.6	254.6	410.5	288.5	202.0	116.6	99.0	31.2	335.4	2699.4
1987-88	185.0	374.6	228.9	233.9	216.8	426.3	226.7	172.5	151.1	60.3	119.8	223.6	2619.3
1988-89	172.7	369.9	321.5	274.5	193.1	109.4	93.5	112.0	51.8	52.7	16.7	33.8	1801.5
1989-90	533.0	494.0	464.5	424.6	318.5	203.7	128.8	206.8	163.2	48.7	145.2	125.1	3256.1
1990-91	343.1	395.2	377.8	343.0	248.5	319.5	79.3	106.2	149.4	51.0	158.7	147.6	2719.2
1991-92	392.5	512.6	399.8	318.8	328.8	143.5	169.6	144.9	79.7	150.2	19.4	147.4	2807.2
1992-93	508.8	301.2	321.7	341.4	181.3	302.2	151.6	55.6	40.9	42.6	37.3	102.8	2387.3
1993-94	258.3	306.8	270.2	181.7	155.0	195.7	233.5	108.7	95.1	115.8	87.5	89.7	2097.9
1994-95	95.8	230.0	206.8	276.0	193.5	173.8	188.7	138.8	47.1	54.9	28.4	85.5	1719.3
1995-96	172.8	420.7	414.0	297.6	202.6	170.4	113.8	191.3	106.0	63.8	34.6	144.6	2332.1
1996-97	172.7	393.7	314.3	271.2	156.0	166.8	299.6	204.5	235.3	81.7	87.0	111.5	2494.2
1997-98	224.2	344.0	351.1	345.2	349.6	332.2	142.4	114.0	516.7	146.4	136.4	218.1	3220.2
1998-99	88.3	213.6	234.4	259.9	155.8	206.1	239.7	961.8	101.0	39.4	51.0	63.2	2614.0
1999-00	417.3	219.4	279.0	373.4	195.4	202.0	125.8	67.0	78.2	93.7	77.8	157.4	2286.4
2000-01	421.3	807.8	330.7	129.4	252.3	274.6	235.5	323.2	213.9	139.9	199.1	271.7	3599.4
2001-02	548.9	543.6	484.3	265.3	236.0	186.1	245.8	110.3	155.8	48.2	56.8	238.6	3119.6
2002-03	628.4	788.0	359.7	259.5	289.9	215.9	177.0	143.3	75.8	16.4	9.6	11.1	2974.5
2003-04	245.9	313.4	284.7	235.1	218.2	163.7	116.9	178.5	133.1	55.4	40.5	151.4	2136.9
2004-05	361.4	427.6	405.9	305.5	215.3	175.8	328.8	287.3	148.4	38.5	125.0	92.4	2911.8
2005-06	365.0	468.1	446.8	283.2	215.8	238.6	134.5	194.6	49.1	33.6	14.8	107.2	2551.3
2006-07	186.7	320.1	223.2	252.1	109.8	144.9	166.7	165.1	126.9	29.4	290.9	295.1	2310.9
2007-08	305.2	504.7	297.1	450.5	213.9	320.7	136.4	248.6	47.4	97.3	88.8	94.3	2804.9
2008-09	274.2	655.5	414.5	272.7	243.7	180.3	759.3	288.1	66.6	75.2	110.6	74.3	3415.1
2009-10	279.4	349.7	414.3	373.6	284.6	187.9	25.6	138.0	53.7	45.8	74.2	105.4	2332.3
2010-11	208.5	292.0	328.6	220.9	136.9	205.3	114.5	281.8	33.7	46.6	33.2	84.6	1986.6
2011-12	576.5	554.4	456.5	257.6	203.7	246.1	45.9	92.3	205.2	157.6	109.9	103.5	3009.2
2012-13	175.7	366.1	398.4	287.1	187.2	174.6	258.0	202.5	103.2	31.7	49.9	241.4	2475.5
2013-14	351.5	405.5	451.6	254.2	217.3	187.7	201.6	251.3	167.9	160.3	95.0	329.8	3073.6
2014-15	205.6	281.3	242.0	217.5	189.1	208.1	75.6	202.1	471.4	126.3	23.9	35.4	2278.2
PROM	307.6	382.7	338.1	282.2	214.2	226.7	204.9	199.3	120.6	74.1	70.4	149.3	2570.2

Los valores de bio-temperatura se obtienen por medio de las temperaturas medias mensuales. Los cálculos se hacen solo cuando la temperatura media mensual es superior a 24° C, mediante la fórmula siguiente:

$$tb = t - \frac{3L}{100} (t - 24^\circ C)^2$$

Donde:

tb = biotemperatura promedio mensual

t = temperatura promedio mensual

L = latitud.

Con los valores anuales de precipitación y temperatura media, para el período de 1971 a 2005 y haciendo uso de las ecuaciones antes descritas, se determinan el coeficiente de escorrentía a emplear en el sitio para determinar su caudal medio anual. Los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla N° 3.9**

**Tabla N° 3.9**  
**Caudales Medios Anuales**

SITIO	AREA Km <sup>2</sup>	COEFICIENTE	PRECIP. ANUAL (Mm.)	Caudal Medio (m <sup>3</sup> /s)
Waspanona	12.76	0.54	2,909.2	0.605

### 3.5.4. Método de Guisti – López.

A menudo las medidas de precipitación y temperatura son los únicos datos hidrológicos disponibles para áreas en desarrollo. Los estimados iniciales sobre abastecimientos potenciales de aguas superficiales deben de partir de esta limitada base climática. Muy pronto en el curso de la planificación se hace necesario un estimado preciso del caudal promedio anual y la variación probable en flujos anuales. Estas determinaciones pueden hacerse mediante la utilización de una función empírica relacionando en coeficiente de escorrentía media anual con los antes mencionados parámetros climáticos. Este tipo de relación ha sido puesto a prueba en una amplia serie de medio ambientes y su utilidad general puede extenderse apreciablemente con limitadas observaciones.

Bajo la consideración de que el coeficiente de escorrentía  $C$  es gobernado por consideraciones climáticas, Guisti y López proponen que la descarga media de un río podría ser determinada como una función de a) la precipitación media anual y b) el índice climático de la cuenca BCI. Este índice se determina mediante la fórmula siguiente:

$$BCI = 40.9 \sum_e^d \left( \frac{P}{1.8T + 22} \right)^{1.11}$$

Donde  $P$  es la precipitación media mensual en cm. Y  $T$  es la temperatura media mensual en grados centígrados.

### 3.5.4.1. Determinación del Índice BCI.

**Tabla N° 3.10**  
**Determinación del Índice BCI**

MES	PRECIPIT(CM)	TEMP(°C)	FACTOR F
ENERO	15.79	24.2	0.206
FEBRERO	9.32	24.7	0.113
MARZO	8.30	25.5	0.097
ABRIL	16.05	26.2	0.197
MAYO	33.24	26.4	0.440
JUNIO	41.41	26.1	0.568
JULIO	37.41	26.0	0.509
AGOSTO	29.81	26.4	0.391
SEPTIEMBRE	22.87	27.5	0.282
OCTUBRE	26.53	27.2	0.336
NOVIEMBRE	24.85	25.7	0.325
DICIEMBRE	25.34	24.6	0.344
SUMA			3.808

$$\text{Factor } F = \left( \frac{P}{1.8T + 22} \right)^{1.11}$$

$$\text{BCI} = 40.9 \times \text{SUMA} = 157.9$$

$$\text{BCI} = 153.4$$

Una vez determinado el índice climático de la cuenca para cada uno de los sitios, se procede a determinar el coeficiente de escorrentía C, mediante el uso de la **Tabla N° 3.11** elaborada por Guisti y López.

**Tabla N° 3.11**

INDICE BCI	COEFICIENTE C
30	0.016
40	0.062
50	0.118
60	0.171
70	0.227
80	0.283
90	0.333
100	0.383
110	0.430
120	0.470
140	0.535
160	0.583
180	0.624
200	0.655

Con los valores de los coeficientes de escorrentía determinados, se estima el valor del caudal medio anual en cada uno de los sitios, cuyos resultados se reflejan en la **Tabla N° 3.12**

**Tabla N° 3.12**  
**Caudales Medios Anuales**

SITIO	AREA Km <sup>2</sup>	COEFICIENTE	PRECIP. ANUAL (Mm.)	Caudal Medio (m <sup>3</sup> /s)
Waspanona	12.76	0.536	2,909.2	0.631

### 3.5.5. Modelo Thornthwaite – Mather.

Debido a que no se cuenta con registros de caudales, se recurre al modelo de balance de agua propuesto por Thornthwaite y Mather para el estimado de la evapotranspiración y la escurriencia.

El modelo propuesto por Thornthwaite y Mather utiliza los parámetros de evapotranspiración potencial, precipitación y la capacidad de retención de humedad del suelo. El modelo determina la evapotranspiración real (actual) en base a parámetros climatológicos de una manera simplificada con el método de Budyko y es aplicado en cada uno de los sitios.

El sitio Waspanona está ubicado en las coordenadas UTM 754284 y 1548818, a unos 6 Km del poblado de Bonanza sobre el camino que comunica la central hidroeléctrica de 3 MW llamada “Siempre Viva” propiedad de HEMCO con Bonanza Urbano. La parte alta de la cuenca está cubierta por áreas de bosques y en su parte baja se observan pequeñas áreas dedicadas a actividades agrícolas y agropecuarias.

Su cuenca de drenaje se encuentra localizada en un 60% en suelos Ultisoles y un 40% en suelos Inceptisoles.

Los suelos Ultisoles son suelos que tienen un drenaje interno natural de imperfecto a bien drenados, de profundos a muy profundos, en relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad natural tiene valores de baja a media, se han desarrollado de rocas básicas, intermedias y ácidas, de sedimentos aluviales, coluviales y fluviales. Presentan las siguientes características morfológicas: texturas superficiales franco arcilloso y arcilloso, textura del subsuelo de arcilloso a muy arcilloso; colores pálidos en el suelo superficial, pardo grisáceo oscuro a pardo amarillento claro, en el subsuelo los colores varían de pardo oscuro a pardo rojizo oscuro, en algunos casos los colores en el subsuelo varían producto del Hidromorfismo de gris pardusco claro a gris claro.

Los suelos Inceptisoles son suelos minerales de desarrollo incipiente, de poco profundos a muy profundos; el horizonte superficial es de colores claros (epipedón ócrico) o de colores oscuros (epipedón úmbrico) y el subsuelo tiene un horizonte alterado (horizonte cámbico) de textura franco arenosa muy fina a arcillosa, con estructura de suelo o ausencia de estructura de roca por lo menos en la mitad del volumen. Se presentan en relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad se presenta

de muy baja a alta. Son desarrollados de sedimentos aluviales, fluviales, coluviales, de cenizas volcánicas, de rocas básicas y ácidas.

La textura superficial de estos suelos varía de acuerdo a su ubicación: en la región del Atlántico es generalmente de franco arcilloso a arcilloso, con coloraciones de pardo claro a pardo rojizo y grisáceo. La textura del subsuelo varía también de acuerdo a su ubicación y material de origen: En la región Atlántica la textura es arcillosa con coloraciones grises claros, esto se debe al Hidromorfismo.

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y su disponibilidad para la planta, está comprendido entre el contenido hídrico que comprende la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente. Dado que la Capacidad de Campo representa la capacidad capilar de un suelo, la que a su vez está relacionada con el tamaño de las partículas, ella depende fundamentalmente de la textura. Para el tipo de suelo que predomina en la cuenca del sitio en estudio, suelo arcilloso y franco arcilloso Thornthwaite – Mather determinan el agua utilizable por las plantas en 300 mm/m para suelo arcilloso y 250 mm/m para suelo franco arcilloso.

Las características físicas y en especial la textura del suelo, tienen una gran influencia en la profundidad radicular. Los suelos de textura gruesa permiten una mayor exploración de las raíces que los de textura fina. En suelo arcilloso, la profundidad de las raíces puede ser la mitad de la que es común en un suelo de condiciones medias. Combinaciones de profundidad y de condiciones físicas, representan diferentes capacidades de almacenaje de agua a disposición de las plantas. Para el tipo de vegetación que predomina en la cuenca del sitio Waspanona, Thornthwaite – Mather determinan profundidades de raíces de 1.17 m para suelo arcilloso y 1.60 m para suelo franco arcilloso.

Tomando en consideración el tipo de suelo y de vegetación que predominan en la cuenca, se determina una retención de humedad aplicable al suelo de 350 mm, la cual es utilizada para la determinación de los caudales medios mensuales del sitio en estudio.

En la aplicación del modelo se determina la evapotranspiración potencial empleando el método de Hargreaves para la estación hidrometeorológica de Precis 03, por ser la estación más próxima al área de la cuenca en estudio, cuyos resultados se presentan en la **Tabla N° 3.13**.

Para determinar la precipitación media mensual a utilizar en la aplicación del modelo, se hace una distribución espacial de las estaciones hidrometeorológicas que están cerca de la cuenca, con el objetivo de definir la distribución espacial de la precipitación en el área y su influencia en el área de la cuenca, que permitirá determinar un factor de corrección a los valores de precipitación registrados por la estación hidrometeorológica más próxima a la cuenca del sitio en estudio.

Para el caso de que nos ocupa, los valores de precipitación registrados por la estación de Bonanza, son afectados por el factor de corrección determinado para la cuenca del sitio de Waspanona, para ser utilizados en la aplicación del modelo y cuyos valores a utilizar en la determinación de los caudales medios mensuales se pueden observar en la **Tabla N° 3.14**.

Una vez obtenidos los valores de evapotranspiración potencial, precipitación media y el estimado de una retención de humedad aplicable al suelo de 350 mm tomando en consideración la textura del suelo y el tipo de vegetación predominante, se procede a la determinación de los caudales medios mensuales, cuyos resultados se aprecian en la **Tabla N° 3. 15**.

**SITIO: WASPANONA**  
**Tabla N° 3.13 - EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL**

AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	ANUAL
1971/72	145.0	139.3	124.7	125.8	123.5	124.7	112.6	96.7	90.1	84.7	103.4	107.8	1378.4
1972/73	121.6	123.0	128.0	149.7	177.2	161.4	115.5	115.6	107.9	113.0	150.5	143.6	1607.0
1973/74	160.4	141.5	135.5	133.5	145.5	139.5	105.7	94.3	91.5	85.8	115.1	126.4	1474.6
1974/75	137.2	126.9	141.7	149.9	154.6	139.3	115.7	99.9	97.0	118.9	163.4	168.6	1612.9
1975/76	150.6	140.6	134.6	124.3	144.8	134.3	101.0	98.2	93.9	85.1	108.1	117.7	1433.3
1976/77	141.4	125.8	128.1	129.3	128.2	130.9	108.2	95.7	90.5	87.3	116.5	124.0	1405.9
1977/78	137.2	132.9	129.3	139.5	142.7	139.9	115.3	93.5	91.2	86.1	111.0	134.8	1453.5
1978/79	153.8	124.7	132.9	126.9	132.7	128.6	106.9	91.7	87.0	96.5	104.5	120.7	1406.9
1979/80	133.7	121.9	125.5	120.4	140.6	125.8	102.4	87.7	98.6	84.2	104.9	117.3	1363.1
1980/81	122.7	124.4	129.0	136.4	140.4	140.4	123.9	97.6	98.2	97.4	111.7	136.8	1459.0
1981/82	141.9	132.9	141.9	163.2	193.5	165.4	121.9	98.6	88.3	131.8	146.5	152.8	1678.8
1982/83	182.7	142.9	138.4	134.0	148.4	152.0	101.8	96.5	92.7	87.2	115.3	121.6	1513.5
1983/84	151.2	135.1	144.3	149.5	179.1	139.4	106.6	88.8	86.5	82.9	109.4	119.3	1492.1
1984/85	123.2	133.8	125.0	144.7	162.6	139.6	108.9	94.6	95.6	85.2	107.4	116.2	1436.9
1985/86	134.5	136.1	129.8	136.5	159.6	150.3	103.2	93.2	90.7	89.4	114.2	131.5	1469.1
1986/87	142.9	135.3	133.0	120.3	139.5	141.7	115.0	97.8	91.4	84.3	112.1	132.1	1445.2
1987/88	125.3	121.4	125.5	131.5	134.5	145.2	108.4	96.7	88.3	88.5	100.0	110.3	1375.5
1988/89	152.4	139.3	141.5	150.9	152.0	182.2	124.2	103.9	100.3	97.4	155.2	153.8	1653.1
1989/90	153.2	149.8	140.1	141.9	141.2	139.3	128.3	95.9	93.3	96.0	120.7	125.2	1525.0
1990/91	160.1	154.6	146.6	142.8	162.4	137.4	116.2	99.3	103.5	97.8	125.8	136.2	1582.8
1991/92	134.6	136.0	136.8	137.6	127.8	157.5	110.2	100.3	98.9	99.0	127.6	143.5	1509.8
1992/93	140.7	142.3	146.3	140.9	147.4	143.5	111.1	94.7	90.9	101.2	125.8	137.8	1522.5
1993/94	152.4	130.0	134.7	152.1	180.2	182.0	114.5	91.4	92.8	84.5	109.2	126.3	1550.4
1994/95	137.5	138.9	147.1	138.9	150.3	143.4	109.2	95.3	91.2	89.5	120.7	132.6	1494.6
1995/96	152.3	124.6	125.4	128.4	134.4	139.3	115.2	99.7	90.2	89.2	127.7	137.2	1463.6
1996/97	167.7	170.1	145.4	151.1	166.7	166.7	105.8	101.9	101.4	103.0	122.6	137.8	1640.1
1997/98	168.7	137.5	141.4	141.4	167.8	130.7	138.3	94.2	93.4	87.0	109.1	113.3	1522.9
1998/99	132.6	129.1	141.5	146.1	170.5	163.8	119.8	101.7	92.5	95.0	120.0	144.9	1557.6
1999/00	135.7	158.0	149.0	142.8	169.9	150.1	128.7	96.4	100.4	106.3	123.6	143.3	1604.2
2000/01	166.5	134.6	132.9	165.9	160.9	141.5	117.1	102.3	95.0	91.7	110.8	124.1	1543.2
2001/02	130.2	119.9	126.9	132.0	127.2	146.0	110.2	97.2	96.8	93.8	110.6	127.3	1418.2
2002/03	133.4	129.6	137.4	146.5	144.6	142.2	108.6	105.5	101.8	107.7	130.2	149.5	1537.0
2003/04	156.6	136.7	139.5	141.5	136.5	143.5	123.8	107.0	103.9	92.6	121.0	137.5	1540.1
2004/05	174.5	138.0	144.2	151.7	186.6	165.7	111.0	96.4	99.5	84.7	113.2	133.8	1599.4
2005/06	133.0	128.4	131.8	137.4	151.1	160.4	128.5	104.5	94.2	103.7	126.4	139.9	1539.4
2006/07	136.5	143.3	145.3	141.9	213.9	178.1	139.2	101.4	101.3	100.6	132.7	133.8	1668.0
2007/08	155.4	146.1	152.8	135.5	178.9	161.4	126.3	103.6	104.2	102.2	136.1	147.4	1649.6
2008/09	143.8	129.2	137.3	142.7	153.3	156.0	112.0	102.6	102.5	109.0	137.1	154.0	1579.2
2019/10	194.0	191.1	151.1	167.5	179.1	180.2	119.9	102.0	93.0	95.6	119.9	140.0	1733.5
2010/11	146.8	143.9	138.7	146.2	167.2	154.6	122.6	104.5	89.1	107.9	128.2	141.6	1591.3
2011/12	147.9	146.4	134.7	158.2	175.9	176.7	135.3	105.0	91.1	96.4	130.5	138.6	1636.6
2012/13	164.5	150.3	154.4	191.6	200.8	179.6	134.3	105.3	112.8	90.6	139.9	143.2	1767.2
2013/14	163.4	153.7	142.5	159.4	176.6	154.0	117.6	90.2	94.2	84.4	109.2	108.3	1553.6
2014/15	132.7	131.8	152.7	163.9	174.7	147.5	123.5	101.1	92.6	94.3	125.7	143.1	1583.4
PROM	147.1	138.0	137.8	143.5	157.8	150.5	116.5	98.7	95.5	95.2	121.7	133.5	1535.7

**SITIO: WASPANONA**  
**Tabla N° 3.14 - PRECIPITACION MEDIA MENSUAL**

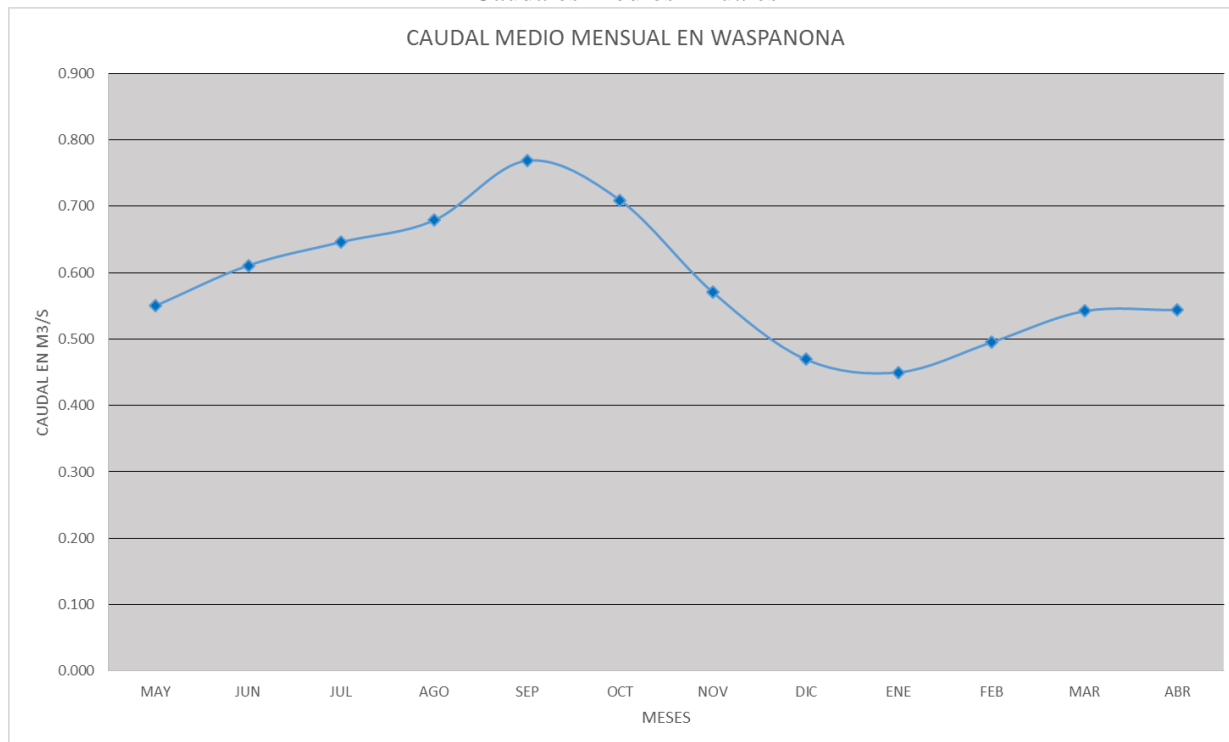
AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	ANUAL
1971/72	90.7	589.4	542.7	227.4	435.8	206.9	89.5	256.2	246.8	93.2	61.5	99.6	2939.7
1972/73	345.4	178.8	508.4	320.6	305.6	256.8	263.7	171.0	111.7	28.6	39.5	12.8	2542.9
1973/74	353.0	431.3	516.9	257.3	279.5	491.9	268.6	98.2	261.6	125.6	116.3	102.0	3302.2
1974/75	222.8	286.3	426.3	334.0	146.3	332.5	125.0	168.1	270.3	39.0	8.4	65.7	2424.7
1975/76	114.6	347.8	221.3	324.5	453.2	437.8	365.4	134.1	207.1	50.3	41.8	70.0	2767.9
1976/77	229.2	423.0	675.0	323.5	246.6	134.2	360.3	194.7	52.6	93.7	66.8	184.7	2984.3
1977/78	236.7	597.0	328.6	278.2	228.3	216.9	267.6	193.3	85.8	61.6	116.2	51.8	2662.0
1978/79	385.7	381.0	603.8	419.0	259.9	266.9	203.6	206.6	69.4	66.3	152.8	230.0	3245.0
1979/80	184.1	533.6	323.0	530.3	334.2	333.9	154.5	221.8	122.4	58.4	37.8	102.8	2936.8
1980/81	400.2	462.7	451.9	362.6	566.5	380.6	197.9	197.0	20.1	230.4	70.6	265.6	3606.1
1981/82	195.1	624.8	361.1	443.4	301.0	378.3	94.1	253.3	161.9	201.9	58.0	72.8	3145.7
1982/83	573.1	269.9	399.0	311.3	381.8	246.3	121.4	199.3	99.5	42.5	45.0	7.0	2696.1
1983/84	93.9	235.5	564.1	397.9	436.8	424.0	184.5	264.3	153.8	97.8	85.3	70.0	3007.9
1984/85	159.3	365.9	383.0	476.8	293.9	428.4	144.2	192.5	106.3	159.5	121.1	66.2	2897.1
1985/86	177.3	528.8	382.4	301.4	129.8	266.5	190.4	188.2	123.6	38.4	65.4	64.2	2456.4
1986/87	269.8	481.4	521.7	549.1	359.2	294.0	239.4	138.5	80.8	10.4	32.4	44.0	3020.7
1987/88	249.4	579.9	715.9	478.6	412.8	182.1	173.9	167.2	208.3	218.6	168.3	114.0	3669.0
1988/89	192.1	429.1	349.1	517.9	411.8	464.5	176.4	171.5	283.3	168.3	99.6	78.5	3342.1
1989/90	205.5	466.4	454.4	80.1	192.2	175.4	216.0	167.4	207.2	94.4	75.4	80.4	2414.8
1990/91	252.4	400.1	438.5	376.9	306.6	307.4	224.6	174.5	169.0	118.0	115.8	119.3	3003.1
1991/92	132.1	487.4	334.5	395.3	302.1	324.0	197.6	296.9	31.7	116.4	34.0	62.0	2714.0
1992/93	137.4	545.0	636.6	500.1	422.7	256.3	344.3	242.4	122.7	96.5	41.2	35.5	3380.7
1993/94	273.5	566.8	293.5	670.0	412.1	342.4	269.6	156.4	181.1	64.1	10.9	18.3	3258.7
1994/95	269.7	300.8	283.9	421.3	304.5	212.0	275.7	199.1	76.9	80.3	37.3	92.8	2554.3
1995/96	154.8	378.9	527.5	217.4	254.1	324.6	182.8	179.4	123.5	111.7	42.8	65.2	2562.7
1996/97	494.1	216.3	611.4	330.1	289.8	169.5	352.7	136.9	169.4	144.7	93.2	28.7	3036.8
1997/98	89.9	430.7	446.2	316.4	257.8	232.6	323.3	33.6	60.4	97.3	112.4	86.0	2486.6
1998/99	199.2	227.6	344.5	158.3	311.9	328.0	182.8	140.8	131.9	111.9	79.2	10.3	2226.4
1999/00	135.4	358.5	347.7	353.2	217.2	315.8	101.1	81.4	103.3	83.3	46.9	63.3	2207.1
2000/01	266.9	257.1	296.3	445.2	230.4	234.6	141.8	117.7	84.3	103.3	83.2	42.1	2302.9
2001/02	153.2	222.5	339.4	508.8	363.2	482.4	118.3	213.6	169.1	111.2	71.9	186.4	2940.0
2002/03	455.6	477.5	418.5	419.9	181.0	436.1	177.6	224.6	124.9	63.9	88.0	43.3	3110.9
2003/04	298.2	255.8	593.3	259.6	413.0	289.8	385.8	62.0	105.3	66.6	144.5	26.0	2899.9
2004/05	423.8	390.2	327.0	371.3	375.4	229.8	182.8	146.8	177.0	21.4	128.5	69.2	2843.2
2005/06	256.2	477.3	331.2	292.3	336.8	311.2	242.9	180.0	99.9	90.6	113.1	104.9	2836.2
2006/07	184.4	289.9	412.8	257.7	211.7	213.0	215.4	279.5	115.9	89.5	127.7	97.5	2495.2
2007/08	307.1	335.0	210.2	130.5	186.6	212.6	122.8	105.8	148.6	130.7	119.5	127.8	2137.0
2008/09	211.8	443.0	440.0	257.4	225.5	342.3	136.8	195.6	109.0	139.3	102.2	156.6	2759.5
2019/10	366.1	276.1	144.6	145.1	177.5	294.4	315.5	407.1	187.6	427.7	81.6	310.1	3133.5
2010/11	237.4	242.9	381.1	555.9	463.4	234.5	140.1	169.6	81.6	81.6	81.6	107.2	2777.2
2011/12	306.8	366.4	336.3	304.2	298.4	220.4	158.7	130.3	154.9	223.6	189.6	96.9	2786.6
2012/13	264.2	195.0	220.5	267.1	231.3	290.4	176.5	135.7	147.1	139.2	119.0	131.7	2317.7
2013/14	275.0	399.7	407.2	368.9	320.4	272.9	210.2	157.4	134.1	180.0	123.0	137.7	2986.6
2014/15	178.6	334.6	306.5	322.6	384.3	318.7	137.4	170.8	156.6	140.4	139.0	143.1	1526.6
PROM	250.0	388.4	412.7	354.1	310.3	298.0	208.0	180.0	137.2	111.6	86.1	94.2	2803.3

**SITIO: WASPANONA**  
**Tabla N° 3.15 - CAUDALES MEDIOS MENSUALES**

AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	PROM
1971-72	0.598	0.623	0.594	0.599	0.608	0.594	0.554	0.460	0.429	0.447	0.492	0.531	0.544
1972-73	0.562	0.606	0.610	0.713	0.872	0.768	0.568	0.551	0.514	0.582	0.521	0.354	0.602
1973-74	0.395	0.591	0.645	0.636	0.716	0.664	0.520	0.449	0.436	0.452	0.548	0.622	0.556
1974-75	0.606	0.600	0.675	0.714	0.761	0.663	0.569	0.476	0.462	0.627	0.677	0.476	0.609
1975-76	0.337	0.433	0.572	0.592	0.713	0.639	0.497	0.468	0.447	0.449	0.515	0.499	0.513
1976-77	0.524	0.571	0.610	0.616	0.631	0.624	0.532	0.456	0.431	0.460	0.533	0.529	0.543
1977-78	0.581	0.654	0.616	0.664	0.702	0.666	0.567	0.446	0.434	0.454	0.514	0.559	0.572
1978-79	0.599	0.614	0.633	0.604	0.653	0.613	0.526	0.437	0.414	0.509	0.494	0.577	0.556
1979-80	0.636	0.600	0.598	0.573	0.692	0.599	0.504	0.418	0.470	0.444	0.500	0.476	0.542
1980-81	0.495	0.612	0.614	0.650	0.691	0.669	0.610	0.465	0.468	0.514	0.530	0.643	0.580
1981-82	0.650	0.654	0.676	0.777	0.952	0.788	0.600	0.470	0.420	0.695	0.698	0.610	0.666
1982-83	0.695	0.703	0.659	0.638	0.730	0.724	0.501	0.460	0.442	0.460	0.480	0.401	0.574
1983-84	0.372	0.376	0.592	0.712	0.881	0.664	0.525	0.423	0.412	0.437	0.521	0.587	0.542
1984-85	0.501	0.591	0.595	0.689	0.800	0.665	0.536	0.451	0.455	0.449	0.512	0.572	0.568
1985-86	0.565	0.640	0.618	0.650	0.786	0.716	0.508	0.444	0.432	0.472	0.477	0.469	0.565
1986-87	0.482	0.613	0.633	0.573	0.686	0.675	0.566	0.466	0.435	0.445	0.439	0.407	0.535
1987-88	0.365	0.531	0.598	0.626	0.662	0.692	0.533	0.461	0.421	0.466	0.476	0.543	0.531
1988-89	0.726	0.686	0.674	0.719	0.748	0.868	0.611	0.495	0.478	0.514	0.739	0.733	0.666
1989-90	0.586	0.661	0.667	0.676	0.695	0.661	0.609	0.449	0.444	0.506	0.558	0.507	0.585
1990-91	0.589	0.690	0.698	0.680	0.799	0.654	0.572	0.473	0.493	0.516	0.599	0.639	0.617
1991-92	0.542	0.610	0.652	0.655	0.629	0.750	0.542	0.478	0.471	0.522	0.567	0.518	0.578
1992-93	0.415	0.551	0.697	0.671	0.725	0.684	0.547	0.451	0.433	0.533	0.599	0.519	0.569
1993-94	0.483	0.578	0.642	0.725	0.887	0.867	0.563	0.436	0.442	0.446	0.520	0.474	0.589
1994-95	0.426	0.567	0.701	0.661	0.740	0.683	0.538	0.454	0.434	0.472	0.552	0.508	0.561
1995-96	0.506	0.498	0.597	0.612	0.661	0.663	0.567	0.475	0.430	0.470	0.608	0.526	0.551
1996-97	0.616	0.832	0.692	0.720	0.820	0.794	0.521	0.485	0.483	0.543	0.584	0.574	0.639
1997-98	0.516	0.468	0.673	0.674	0.826	0.622	0.681	0.449	0.445	0.403	0.430	0.445	0.553
1998-99	0.499	0.549	0.667	0.696	0.839	0.780	0.590	0.484	0.441	0.500	0.524	0.531	0.592
1999-00	0.380	0.533	0.682	0.680	0.836	0.715	0.633	0.458	0.423	0.461	0.435	0.436	0.556
2000-01	0.489	0.530	0.623	0.790	0.792	0.674	0.576	0.487	0.431	0.427	0.439	0.452	0.559
2001-02	0.412	0.435	0.559	0.629	0.626	0.695	0.542	0.463	0.461	0.495	0.527	0.616	0.538
2002-03	0.635	0.638	0.655	0.698	0.712	0.677	0.534	0.502	0.485	0.568	0.604	0.570	0.606
2003-04	0.551	0.544	0.557	0.664	0.696	0.650	0.706	0.590	0.509	0.548	0.441	0.533	0.583
2004-05	0.640	0.677	0.687	0.723	0.918	0.789	0.546	0.459	0.474	0.447	0.497	0.534	0.616
2005-06	0.499	0.604	0.628	0.655	0.744	0.764	0.632	0.498	0.449	0.547	0.582	0.583	0.599
2006-07	0.515	0.607	0.692	0.676	1.053	0.848	0.632	0.473	0.482	0.531	0.576	0.538	0.635
2007-08	0.604	0.687	0.728	0.645	0.796	0.654	0.527	0.409	0.409	0.461	0.555	0.583	0.588
2008-09	0.541	0.591	0.654	0.679	0.754	0.743	0.551	0.489	0.488	0.575	0.618	0.640	0.610
2009-10	0.788	0.895	0.687	0.686	0.693	0.694	0.558	0.486	0.443	0.504	0.571	0.689	0.641
2010-11	0.699	0.708	0.661	0.696	0.823	0.736	0.603	0.498	0.424	0.534	0.500	0.504	0.616
2011-12	0.532	0.681	0.642	0.753	0.866	0.841	0.666	0.479	0.404	0.499	0.621	0.671	0.638
2012-13	0.695	0.661	0.680	0.850	0.910	0.780	0.619	0.472	0.495	0.440	0.602	0.590	0.650
2013-14	0.643	0.723	0.679	0.759	0.869	0.734	0.579	0.430	0.449	0.445	0.520	0.533	0.613
2014-15	0.630	0.649	0.727	0.781	0.860	0.702	0.608	0.482	0.441	0.497	0.599	0.679	0.638
2015-16	0.629	0.623	0.642	0.674	0.739	0.766	0.595	0.527	0.465	0.521	0.502	0.487	0.597
PROM	0.550	0.611	0.646	0.679	0.769	0.709	0.570	0.469	0.450	0.495	0.542	0.544	0.586

Para tener una mejor apreciación del comportamiento durante el año de los caudales medios mensuales, determinados para el Proyecto de la Pequeña Central Hidroeléctrica localizado en el río Waspanona, para el período de estudio seleccionado se presentan en el **Gráfico N° 3.8**, donde se puede apreciar que el valor máximo de  $0.769 \text{ m}^3/\text{s}$  se presenta en el mes de Septiembre y el valor mínimo de  $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$  en el mes de Enero.

Gráfico N° 3.8  
Caudales Medios Anuales



### 3.5.6. Curva de Duración

La curva de duración resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios diarios en el sitio de captación de un proyecto de suministro de agua. Se estima que si la serie histórica es suficientemente buena, la curva de duración es representativa del régimen de caudales medios de la corriente y por lo tanto puede utilizarse para pronosticar el comportamiento del régimen futuro de caudales, o sea el régimen que se presentará durante la vida útil de la captación.

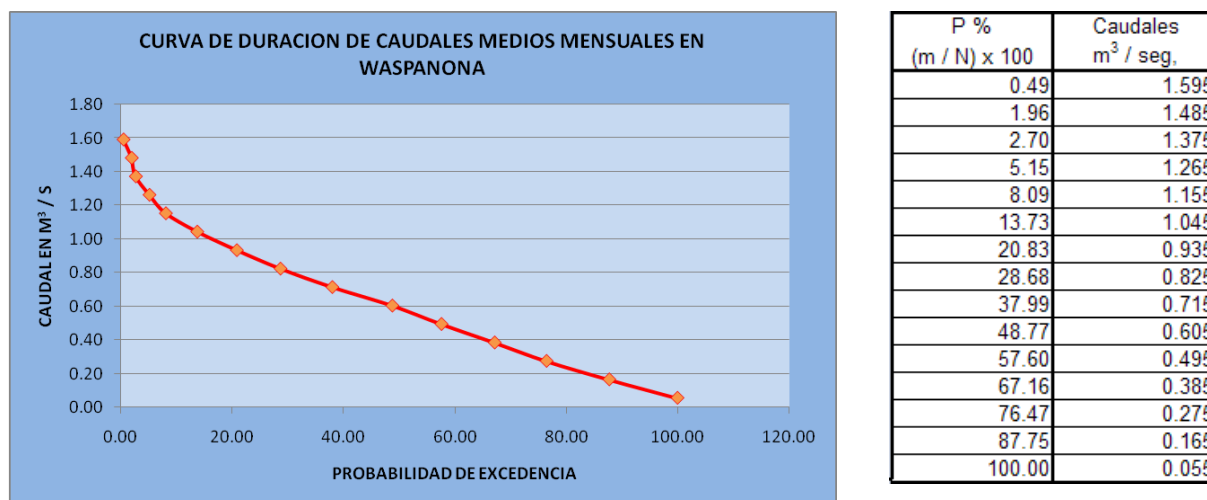
Su uso más común es para conocer la variación de descarga de un río, con fines de diseño de embalses, para determinar el número de unidades generadoras de energía en una planta hidroeléctrica y para encontrar la energía firme de la planta.

La curva de duración de caudales permite escoger el caudal de diseño más eficiente, y a partir de este, del valor del caudal ecológico, y del caudal mínimo técnico de cada una de las turbinas utilizables, evaluar la potencia de la planta y la producción anual esperada en año hidráulico medio.

Debido a que el área de la cuenca del sitio en estudio es pequeña y carece de datos hidrométricos y además, no se están considerando obras mayores para represar; por lo tanto, se considera adecuado utilizar una curva de duración de caudal que permita definir la fluctuación del mismo, la cual se elabora con los valores de caudales medios mensuales determinados por el modelo de **Thornthwaite – Mather**, donde en la escala vertical de la curva se representa los caudales medios y en la escala horizontal las probabilidades de que dichos caudales puedan ser igualados o excedidos.

Los resultados obtenidos en la elaboración de la curva de duración de caudales para el sitio de Waspanona presenta un caudal medio anual de  $0.586 \text{ m}^3/\text{s}$ . Con un caudal del 90.0% de excedencia de  $0.155 \text{ m}^3/\text{s}$  y un caudal de 100.0% de excedencia  $0.055 \text{ m}^3/\text{s}$ . La representación gráfica de la distribución de los caudales en el que se define su fluctuación, se presenta en el Gráfico N° 3.9.

Gráfico N° 3.9  
Curva de Duración de Caudales Medios Mensuales



### 3.5.7. Resultados Principales.

Con el objetivo de hacer una evaluación de los resultados obtenidos por el método de Thornthwaite – Mather, se hace una comparación con los valores de caudales medios anuales por este método y los métodos de Holdridge y Guisti-López, utilizados en la evaluación preliminar. Con relación al método de Holdridge los valores obtenidos resultaron ser en promedio un 3.14% menores.

En cuanto a los resultados obtenidos al hacer la comparación de los valores obtenidos por el método de Thornthwaite – Mather y los obtenidos por el método de Guisti-López, presentan una diferencia entre ellos del 3.92% en promedio. Los valores de caudales medios anuales obtenidos por cada uno de los métodos se presentan en la **Tabla N° 3.16**.

**TABLA N° 3.16**  
**CAUDALES MEDIOS ANUALES (m<sup>3</sup> / s)**

SITIO	HOLDRIDGE (1)	GUISTI – LOPEZ (2)	T – MATHER (3)	DIF ENTRE 1 Y 2 %	DIF. ENTRE 2 Y 3 %
WASPANONA	0.605	0.536	0.586	11.4	3.92

Debido a que en el sitio en estudio por el tamaño del río y la lejanía no se tienen mediciones directas de caudales, que de alguna manera permita conocer el comportamiento de cómo evoluciona el caudal a lo largo del año, se toma la decisión de realizar mediciones de caudales en el sitio de Waspanona, con el objetivo de tener mediciones directa de manera que permitieran cuantificar el orden de valores de dichos caudales y a la vez poder cuantificar de alguna manera los resultados obtenidos en la determinación de los caudales medios mensuales.

Estas mediciones de caudales se realizaron a finales del mes de Diciembre, más específicamente en el período del 26 al 29, donde los resultados de dichas mediciones don los siguientes:

- En el sitio del río Waspanona se tiene como resultado de las mediciones de caudales un valor de 0.556 m<sup>3</sup>/s.

A este valor de caudal obtenido de las mediciones se les compara con los valores obtenidos en el estudio para el mes de Diciembre, con el propósito de poder evaluar en cierta forma los resultados del estudio con las mediciones directa en el sitio, ya que estas mediciones son puntuales, por lo que se requiere más de estas mediciones y en especial en el período en que disminuyen las precipitaciones, para tener una mayor seguridad de los resultados obtenidos en el estudio. Sin embargo, los resultados obtenidos son satisfactorios al compararlos con los otros métodos empleados en las estimaciones de los caudales medios anuales como en las mediciones directas, a como se puede apreciar en la **Tabla N° 3.17**.

**TABLA N° 3.17**  
**CAUDALES (m<sup>3</sup>/s)**

<b>SITIO</b>	<b>ESTUDIO</b>	<b>MEDICIONES</b>	<b>DIFERENCIA (%)</b>
Waspanona	0.469	0.556	10.8

Las condiciones climatológicas y de contenido de humedad de los suelos al momento de realizar las mediciones de alguna manera influyen en los resultados, en el sitio del río Waspanona, al momento de hacer las mediciones se observan los suelos saturados de la humedad producto de las lluvias precipitadas en los últimos días, precipitaciones que se dieron por la mañana, horas antes de hacer las mediciones.

De conformidad a los valores obtenidos en el estudio y en las mediciones del mes de Diciembre, se recomienda hacer mediciones directas puntuales de caudales en el período seco en cual disminuyen considerablemente las precipitaciones, hasta que se realice la construcción de los proyectos, para reconfirmar los caudales mínimos de la temporada seca.

### **3.6. Caudales Máximos.**

El régimen de caudales máximos es un dato básico, indispensable para todos los diseños hidráulicos y para muchas obras civiles en los que ellos son parte importante como las presas, carreteras, puentes, acueductos, etc.

Sin embargo en países como el nuestro las estaciones de aforo de caudales son inexistentes en muchos sitios, lo que ha obligado a recurrir a métodos aproximados para la estimación de los

caudales de diseño, como son los métodos de regionalización. No debemos olvidar que ningún método, por bueno que sea reemplaza la medida directa de la variable, el objeto de toda estación de aforo es poder establecer la curva de caudales contra el tiempo.

En Nicaragua es una constante la falta casi total de estaciones hidrométricas en ríos pequeños, ocasionando que se tenga un completo desconocimiento del comportamiento hidráulico de pequeñas corrientes con potencial de ser utilizadas para la generación de energía eléctrica.

Los sistemas hidrológicos son afectados algunas veces por eventos extremos, tales como las tormentas severas, crecientes y sequías. La magnitud de un evento extremo está inversamente proporcional con su frecuencia de ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que eventos moderados. El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidades.

La magnitud del caudal de diseño, es función directa del periodo de retorno que se le asigne, el que a su vez depende de la importancia de la obra y de la vida útil de ésta.

### **3.6.1. Periodo de retorno de una avenida.**

Para el caso de un caudal de diseño, el periodo de retorno se define como el intervalo de tiempo dentro del cual un evento de magnitud  $Q$ , puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio.

Si un evento igual o mayor a  $Q$ , ocurre una vez en  $T$  años, su probabilidad de ocurrencia  $P$ , es igual a 1 en  $T$  casos, es decir:

$$P=1/T \quad \text{ó} \quad T=1/P$$

### 3.6.2. Análisis de Frecuencia para Curva Regional.

Cuando en la región hidrológica a estudiar no se cuenta con registros hidrometeorológicos (caudal y precipitación), se aplica el método de curvas regionales, el cual consiste en extrapolar los datos de caudales existentes a la cuenca no aforada (sin registros), con la particularidad que ambas cuencas deben tener características físico climáticos similares.

En el presente estudio se realizó el análisis de las curvas regionales, válidas para la parte norte y central de Nicaragua, que incluyen a las estaciones hidrométricas ubicadas en las cuencas de los ríos Coco (Cuenca N° 45), Grande de Matagalpa (Cuenca N° 55) y San Juan (Cuenca N° 69). En la **Tabla N° 3.18**, se presentan las estaciones involucradas en el análisis.

En la **Tabla N° 3.19** se presenta, un resumen del análisis estadístico de los datos hidrológicos de las estaciones consideradas.

El método consiste en aplicar un análisis de frecuencia a los caudales máximos anuales de todas las estaciones seleccionadas, por medio de un ajuste de distribución teórica para valores extremos **Tipo I** (Gumbel). Los resultados para períodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años, se muestran en los **Gráficos N° 3.10** y **N° 3.11** de la Curva Regional.

Para poder aprovechar toda la información contenida en el conjunto de registros de caudales máximos de manera más efectiva, es necesario aplicar unos ajustes ‘regionales’ a las estadísticas de las series individuales.

Con este fin se aplicó el supuesto, de que la primera estadística - el valor promedio - de las series individuales representa suficientemente la “tendencia central” de los caudales máximos anuales de cada cuenca de acuerdo con su propia área de drenaje.

**Tabla N° 3.18**  
**Estaciones hidrométricas utilizadas en el Análisis de las Curvas Regionales**

CAUDALES MAXIMOS INSTANTANEOS						
ESTACIONES HIDROMETRICAS						
CUENCAS N° 45, 55 Y 69						
AÑOS	Caudales Máximos Instantáneos					
	Estaciones Hidrométricas					
	Palmira	Antioquia	El Dorado	Jigüina	Sta Juana	Pacora
1	484	139.0	50.0	51	420.0	483.0
2	172	134.0	47.0	601.0	115.0	437.0
3	165	143.0	45.0	401.0	67.0	255.0
4	20.2	77.6	52.0	434.0	1514.0	142.0
5	490	72.7	48.0	50.0	389.0	68.0
6	2780	74.7	39.0	30.0	220.0	269.0
7	504	71.4	26.0	68.0	265.0	132.0
8	213	34.9	39.0	151.0	98.0	138.0
9	24	114.0	70.0	199.0	71.0	639.0
10	54	28.1	94.0	215.0	312.0	17.0
11	127	47.7	34.0	85.0	270.0	95.0
12	137	24.8	46.0	110.0	153.0	199.0
13			46.0	40.0	1110.0	76.0
14			171.0	55.0	50.0	19.0
15			66.0	495.0	107.0	44.0
16			76.0	151.0		29.0
17			57.0	97.0		15.0
18			42.0	287.0		304.0
19			105.0	90.0		
20			181.0	229.0		
21				122.0		
22				133.0		
23				98.0		

**Tabla N° 3.19**  
**Cuadro resumen del Análisis Estadístico**

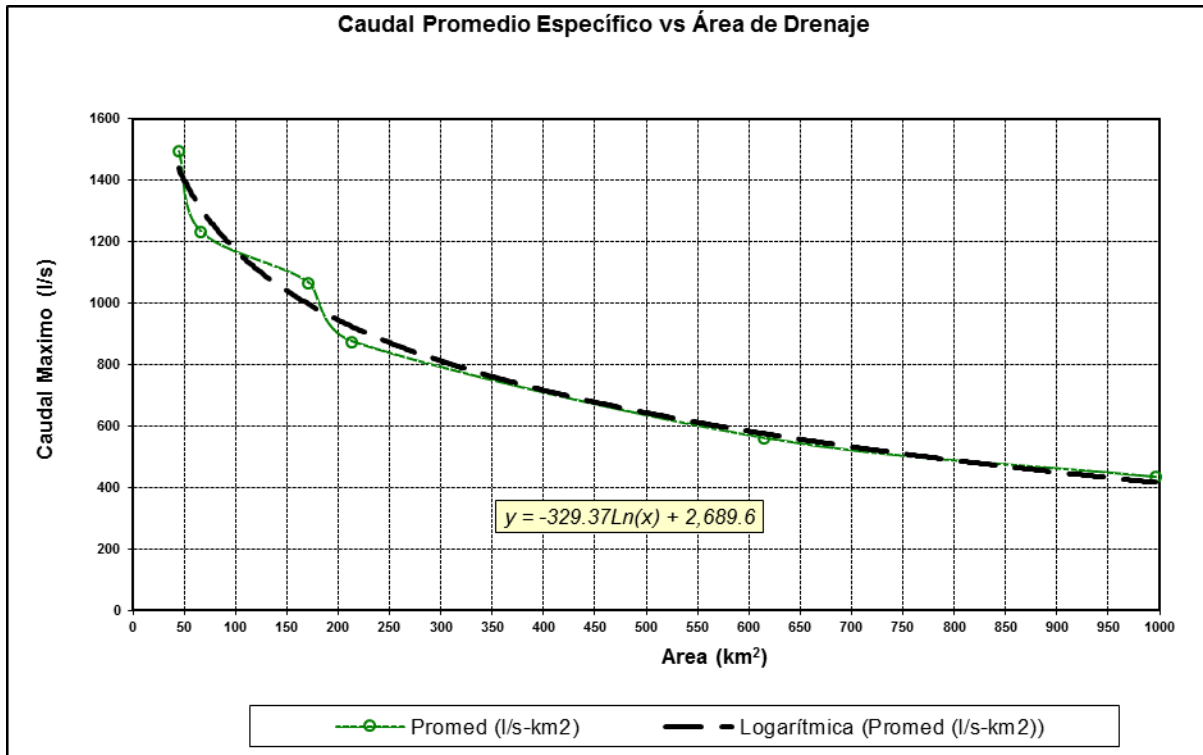
Estación Hidrométrica			Elev.	Area	Promedio		Dev.Tip.	Cv	Máximo	Período de datos	# de Años
Código	Nombre	Río	(msnm)	(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)		(m <sup>3</sup> /s)		
<b>Cuenca 45: Coco</b>											
450102	Palmira	Coco	553	996	430.8	433	761.0	1.766	2,780	1969-80	12
450301	Antioquia	Pantasma	860	66.4	81.7	1,230	41.3	0.506	143	1980-00	12
<b>Cuenca 55: Grande de Matagalpa</b>											
550201	El Dorado	Tuma	920	44.7	66.7	1,492	42.2	0.633	185	1964-86	10
550301	Jiguina	Jiguina	962	171	182.3	1,066	158.4	0.869	649	1972-00	23
<b>Cuenca 69: San Juan</b>											
690503	Santa Juana	Malacatoya	103	615	344.1	560	417.0	1.212	1,514	1970-84	15
691101	Pacora	Pacora	50	214	186.7	872	180.5	0.967	639	1974-98	17

Bajo esta premisa se estableció una relación entre el caudal promedio específico (l/s-km<sup>2</sup>) y el área de drenaje, por el ajuste de una curva analítica tipo logarítmico, como se muestra en el **Gráfico N° 3.11**

A través de esta relación se permite estimar directamente el valor promedio de la crecida máxima anual para una cuenca de acuerdo con su área de drenaje A (km<sup>2</sup>):

$$Q_{\max} (A) \text{ promedio} = A \{2.6896 - 0.329 \ln(A)\} \text{ en m}^3/\text{s}$$

**Gráfico N° 3.10**  
**Caudal promedio Específico (l/s) vs Área de Drenaje**



Para poder predecir una crecida correspondiente de un cierto período de retorno T (años) se aplica la ecuación de frecuencia:

$$Q_T = Q_{\max}(A) \text{ promedio } (1 + K_T C_v)$$

Donde:

- $K_T$  = factor de frecuencia para el período de retorno T  
 (Según una distribución teórica, por ejemplo: Gumbel)
- $C_v$  = Coeficiente de variación (valor regional)

El valor regional de  $C_v$  se estima convenientemente como el promedio ponderado tomado en cuenta la longitud de los registros individuales de las series históricas que forma la muestra o grupo de estaciones. Para el grupo de estaciones considerado en este análisis el valor  $C_v$  promedio ponderado resulta en 0.99.

Aplicando este procedimiento, se elaboraron curvas regionales de crecidas en función de las áreas de drenaje para los períodos de retorno 10, 25, 50, 100 y 500 años. Los resultados se muestran en el **Gráfico N° 3.12** y en la **Tabla N° 3.20**

Las ecuaciones generadas de las Curvas Regionales para los periodos de retornos antes mencionados se detallan a continuación.

$$Q_{10} = 9.3309 * A^{0.703}, R^2 = 0.99$$

$$Q_{25} = 12.312 * A^{0.703}, R^2 = 0.99$$

$$Q_{50} = 14.523 * A^{0.703}, R^2 = 0.99$$

$$Q_{100} = 16.718 * A^{0.703}, R^2 = 0.99$$

$$Q_{500} = 21.791 * A^{0.703}, R^2 = 0.99$$

$$Q_{\text{Promedio}} = 4.0704 * A^{0.703}, R^2 = 0.99$$

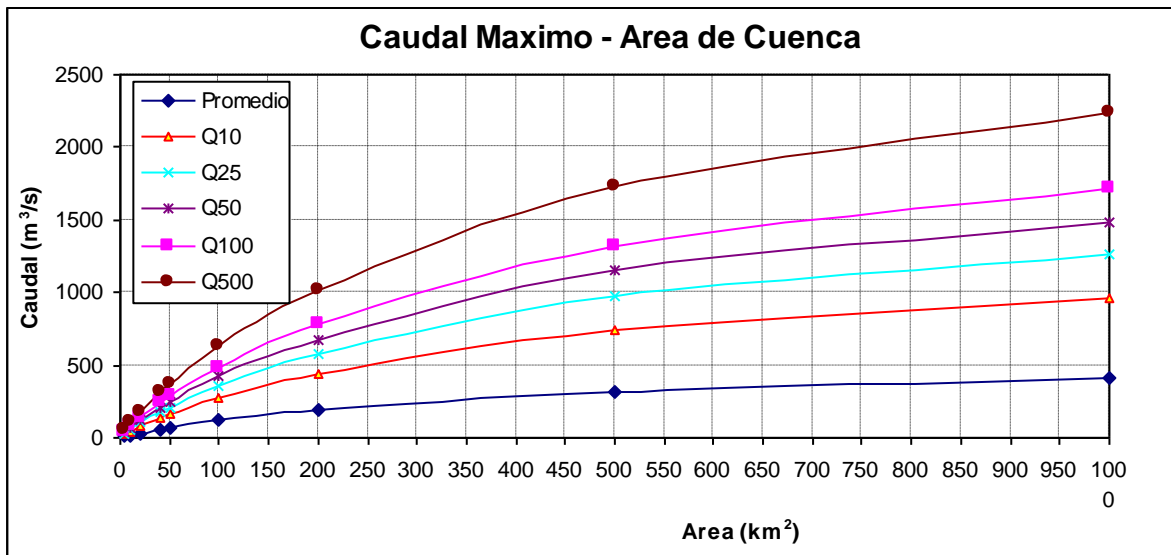
**Donde:**

$Q_n$  = Caudal del Periodo de retorno a Evaluar (10, 25, 50, 100 y 500 años).

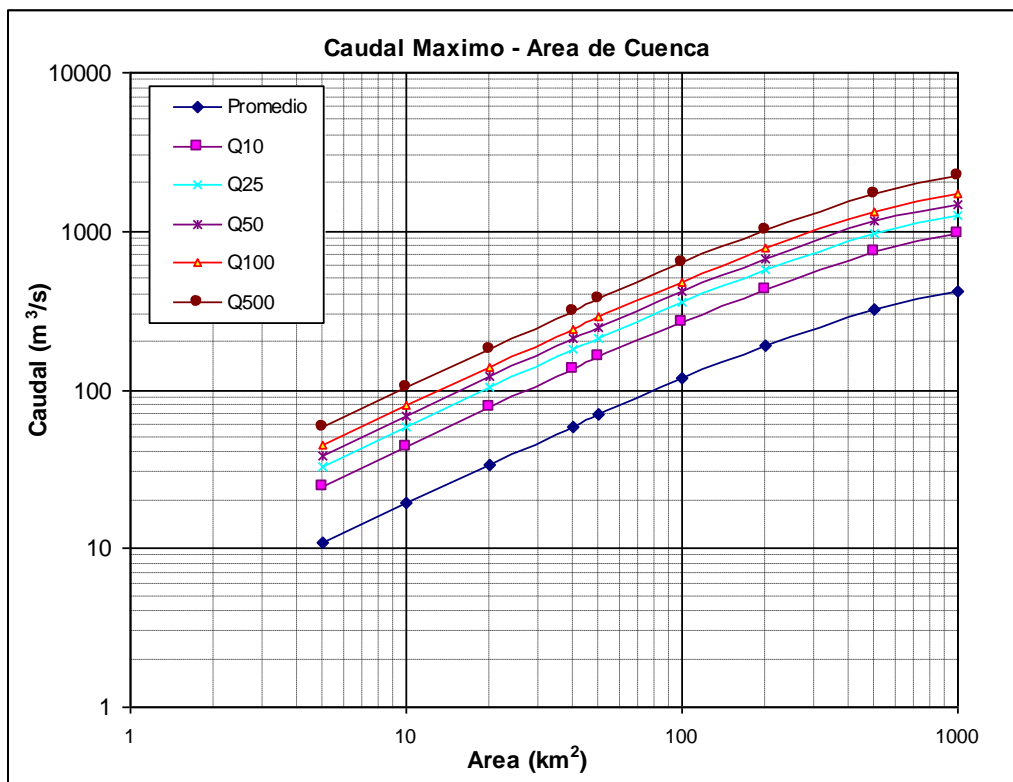
$A$  = Área de Drenaje de la Cuenca en  $\text{km}^2$ .

$R^2$  = Coeficiente de Correlación de los Datos que genera la Ecuación.

**Gráfico N° 3.11**  
**Curvas Regionales para Diferentes Períodos de Retorno**



**Gráfico N° 3.12**  
**Curvas Regionales para Diferentes Períodos de Retorno**  
**(Logarítmica)**



**Tabla N° 20**  
**Crecidas en Sitio para Diferentes Periodos de Retorno**

Nombre de PCH	Área km <sup>2</sup>	Crecidas para Diferentes Periodos de Retorno				
		Q <sub>10</sub>	Q <sub>25</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>500</sub>
		K <sub>10</sub> =1.30456	K <sub>25</sub> =2.043831	K <sub>50</sub> =2.592282	K <sub>100</sub> =3.136673	K <sub>500</sub> =4.3947
WASPANONA	12.76	53.72	70.88	83.61	96.24	125.44

Dado que el proyecto consiste de obras muy pequeñas, se recomienda utilizar un caudal de diseño para un período de retorno de 100 años.

## **II Unidad:**

### **Diseño de Minicentral**

Se toman en consideración Características Topográficas y Geológicas para la ubicación del eje de presa y altura adecuada. Los caudales medios resultantes en la Hidrología se utilizan para el rango de caudales a utilizar en la obra de toma.

#### **4.1. Desarrollo del Estudio**

Sobre la base de los resultados de los estudios Hidrológicos, Geológicos y del Levantamiento Topográfico, se elaboró el presente estudio de Optimización de Alternativas de Desarrollo, en el cual se procedió a identificar los posibles esquemas de desarrollo en el sitio de estudio y sus características. Una vez definidos los esquemas preliminares de desarrollo en el sitio, se procedió a la optimización del caudal de diseño y la capacidad instalable para el proyecto en estudio.

Tomando en consideración las características topográficas del sitio en estudio se definieron las características de los esquemas de desarrollo posibles tales como:

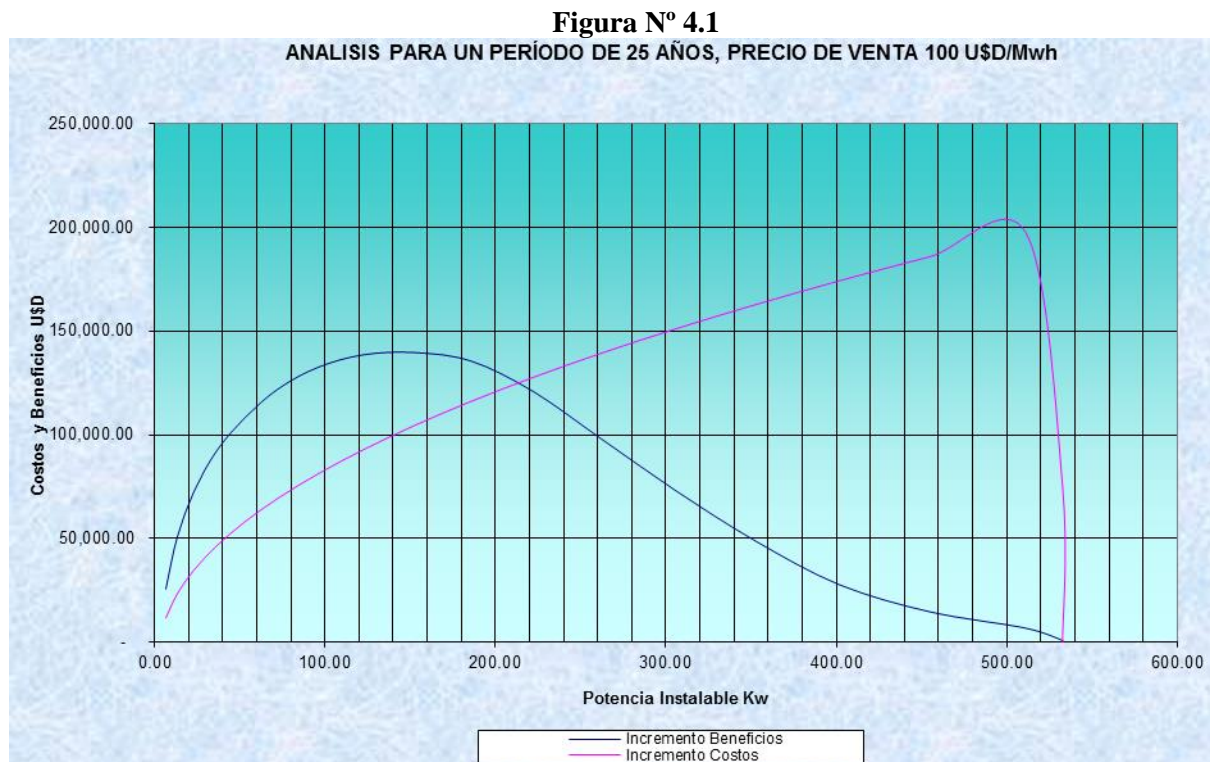
- Altura de Presa
- Nivel de Desfogue
- Caída Bruta
- Esquema de operación (Filo de Agua o posibilidades de regulación)
- Longitudes de conducción

Con la información en cada sitio y con los resultados del estudio hidrológico, se procedió a la estimación de las caídas netas, pérdidas hidráulicas, capacidad instalable, energía anual y mensual generada para un amplio rango de caudales de diseños en el sitio. Se seleccionó un rango de caudales que abarcara todo el abanico de posibilidades dentro de la matriz de caudales medios mensuales resultante del estudio Hidrológico, es decir, desde caudales con una probabilidad de ocurrencia igual al 100 %, hasta caudales con una probabilidad de ocurrencia menor al 1%.

Con esta información se procedió a realizar la estimación preliminar de costos de construcción, así como los beneficios que se obtendrían con la venta de la energía para cada alternativa de potencia instalable estudiada en el sitio del proyecto, con el fin de determinar su capacidad instalable óptima. La metodología utilizada fue la del Análisis de Costos Incrementales, para lo cual se determina el incremento de costos de construcción que significa pasar de una alternativa de potencia instalable a otra, así como el incremento de los beneficios que se obtendrían. Al graficar dichos resultados en dependencia de la potencia instalable, la capacidad óptima a instalar se obtiene cuando el incremento de los beneficios es igualado o superado por el incremento de los costos de

construcción, a partir de ese momento cualquier aumento en la potencia a instalar deja de ser atractivo económicamente.

Como se puede observar en la Figura N° 4.1 a continuación, gráfico de Costos y Beneficios Incrementales vs Potencia Instalable para el sitio Waspanona. Los beneficios incrementales (línea azul) aumentan considerablemente al inicio, al pasar de una potencia pequeña a otra mayor pero luego llegan a un máximo, y a partir de ese punto los beneficios van siendo menores cada vez hasta llegar a cero cuando se alcanza la máxima generación de energía. De igual forma los costos incrementales de construcción (línea maravilla) aumentan con la potencia, hasta llegar a un máximo donde la potencia es igual a la máxima posible para el sitio y luego se igualan a cero, el punto de intersección de ambas líneas corresponde a la potencia instalable óptima en esas condiciones.



La metodología se basa en la premisa de que todo río con determinadas condiciones topográficas e hidrológicas, posee un potencial máximo para un aprovechamiento hidroeléctrico, pero no todo este potencial es económicamente viable para ser aprovechado en un desarrollo hidroeléctrico. Con el aumento del caudal de diseño de un proyecto, aumenta su capacidad instalable y la energía

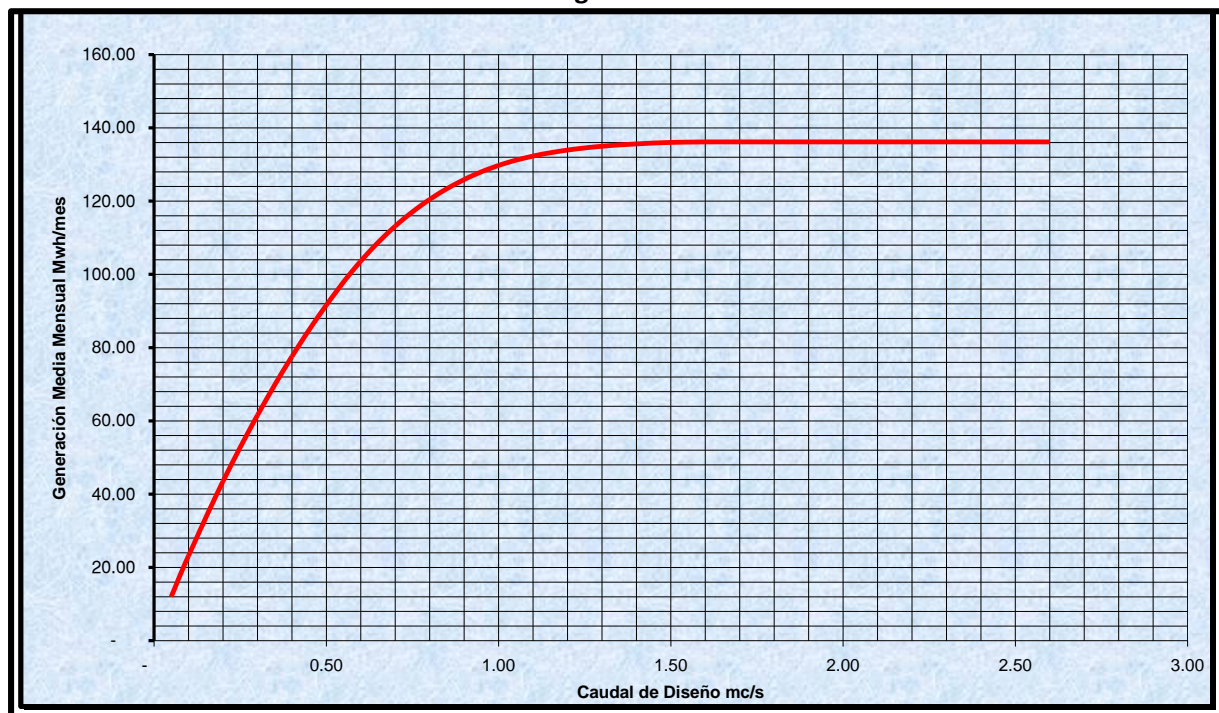
generada, la cual para cada sitio con condiciones específicas de carga y escorrentía, tiene un máximo posible que no puede ser superado.

En otras palabras a cada incremento en el caudal de diseño corresponde un incremento en la potencia instalable y energía generada, hasta llegar a una potencia máxima posible, de igual forma ocurre con la generación de energía.

Para los caudales bajos este incremento es significativo pero a medida que el caudal de diseño se acerca al caudal máximo posible en dicho río, este incremento se torna insignificante hasta llegar a ser cero.

Esto puede ser observado en la Figura N° 4.2 a continuación, curva Caudal de Diseño vs Generación Media Mensual para el sitio Waspanona, cuya generación máxima mensual posible es de unos 136 Mwh.

Figura N° 4.2



Todas las alternativas se compararon a un mismo nivel de estudio, para lo cual se tomó como costo unitario para la estimación del costo de construcción de cada alternativa un valor de USD 3,500.00 dólares el Kw Instalado. Este costo fue tomado de obras similares construidas recientemente en Centroamérica.

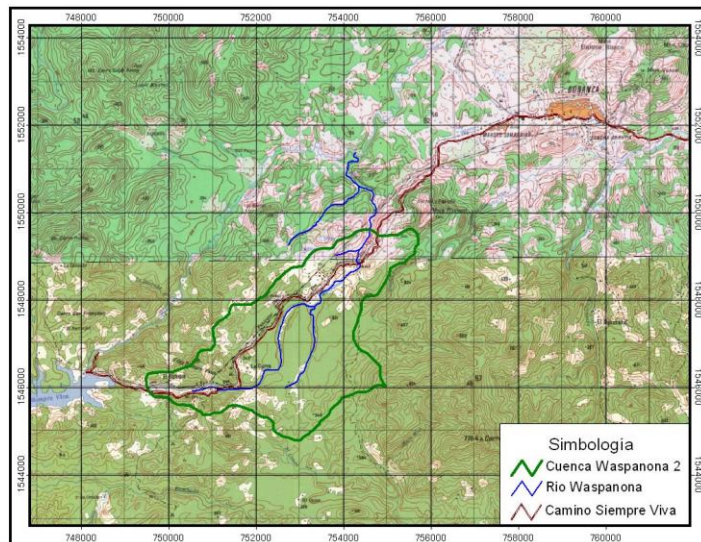
Para la estimación de los beneficios se tomó como base un precio de venta de la energía igual a 10 centavos de dólares el Kwh.

Los Beneficios de cada alternativa fueron evaluados al valor presente de acuerdo al período de análisis con una tasa de descuento del doce por ciento anual (12 %).

## 4.2. Resultados del Estudio.

Se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 754605 Longitud Este y 1549816 Latitud Norte a unos 5.5 Km del poblado de Bonanza al lado del camino que comunica la hidroeléctrica “Siempre Viva”, propiedad de HEMCO con Bonanza Urbano, Ver Mapa de Microlocalización en Figura N°4.3 a continuación se estimó un caudal medio anual de 0.586 m<sup>3</sup>/s. con un caudal del 90.0% de excedencia de 0.155 m<sup>3</sup>/s y un caudal de 100.0% de excedencia 0.055 m<sup>3</sup>/s.

Figura N°4.3



La topografía del sitio permite la construcción de una presa bastante alta, hasta unos 20 a 25 m de altura, y las condiciones topográficas aguas arriba del sitio de presa son favorables para la formación de un embalse de regulación, pero debido a la infraestructura existente en la zona solo es posible llegar hasta una altura de unos 8 m. Para una presa de 7.5 m de altura, hasta la cota 257 msnm, se obtendría un volumen útil estimado de 72,000 m<sup>3</sup>, para poder operar un día completo,

sin entradas adicionales, la PCH Waspanona con un caudal de diseño de 700 l/s requeriría un volumen útil de 60,480 m<sup>3</sup> aproximadamente.

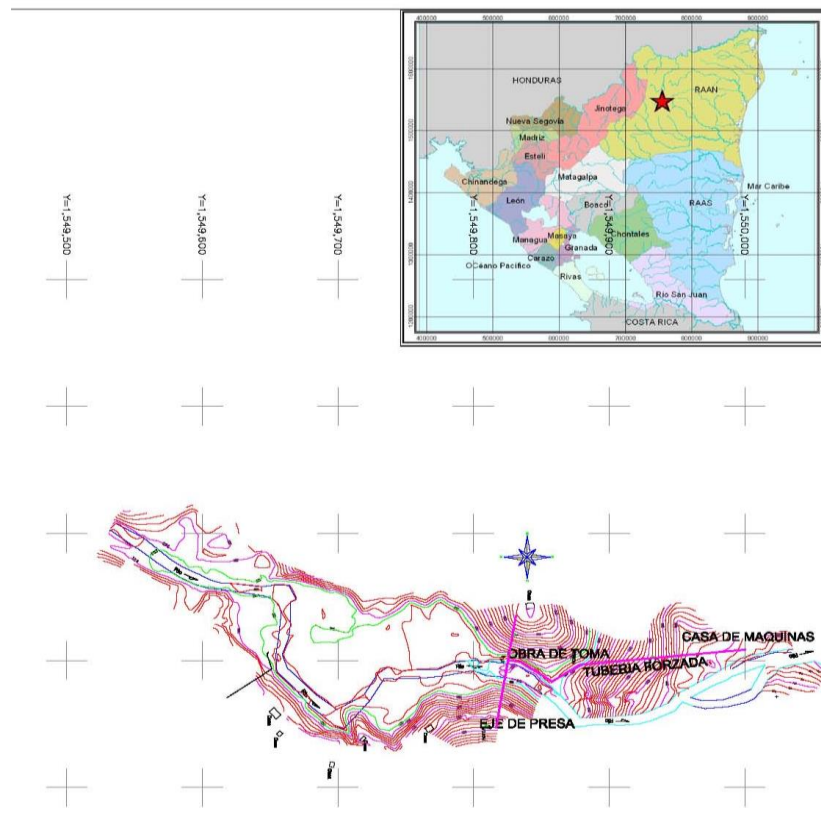
Se analizó un esquema de desarrollo a filo de agua, y en la etapa de diseño conceptual se analizará la posibilidad de contar con una pequeña capacidad de almacenamiento para la regulación diaria en la época seca, para que la PCH Waspanona pueda ser utilizada para seguir la curva de la demanda durante las horas picos. El nivel de cresta de la presa se estableció a la cota 255.00 msnm y el nivel de desfogue a la cota 216.00 msnm para una caída bruta de 39.00 m. Los parámetros principales del esquema propuesto se presentan en la Tabla No.1 a continuación.

**Tabla No.1 – Parámetros principales del esquema propuesto.**

Proyecto	Niv. Cresta msnm	Niv. Desf. msnm	H Bruta m	Perdidas m	H Neta m
Waspanona	255.00	216.00	39.00	1.00	38.00

Se propone un desarrollo sobre la margen izquierda del río, debido a que la misma ha sido más intervenida por el hombre y además presenta pendientes más suaves en sus laderas con signos de mayor estabilidad que la margen derecha. Se ubicará la toma en una pequeña garganta inmediatamente aguas arriba del salto, con una tubería enterrada, de unos 180 mts de longitud aproximadamente. La cimentación de la presa se hará sobre afloramientos rocosos de lavas andesíticas y basálticas con buena condición física, aunque fracturadas. La casa de Máquinas se ubicará sobre una terraza coluvio – aluvial en la Margen izquierda del río. En la Figura N°4.4 a continuación se presenta la Macrolocalización del proyecto y un esquema general del desarrollo propuesto.

Figura N°4.4 Localización y Esquema General Proyecto Waspanona



En la Tabla No.2 a continuación se presenta el resultado de la optimización para el desarrollo Hidroeléctrico Waspanona, el cual corresponde al punto de intersección obtenido del Gráfico N°10. La tabla muestra el resultado para el período de análisis de 25 años y el precio de venta de la energía de 10 centavos el Kwh se obtiene una potencia óptima de 210 Kwh.

Tabla No.2 – Resultados de la optimización.

Período de Análisis	Pot. Instal Kw	Q Diseño m <sup>3</sup> /s	Energ.Med Mwh/año
Años	10 Centavos de Dólar por Kwh		
25	210.00	0.586	1,283.16

Durante el diseño final se realizará el análisis final del proyecto Waspanona en el rango de caudales de 600 a 700 l/s para verificar los resultados de la optimización.

Los resultados arriba descritos corresponden al punto de intersección obtenido de la Figura N° 5.4 presentada a continuación.

### **4.3. Conclusión**

Los resultados de análisis mostrado en este capítulo, indican que el proyecto de Waspanona debe ser evaluado durante el diseño final, entre un rango del caudal de diseño de 600 a 900 litros /seg, con el fin de optimizar la potencia y la energía del mismo, valorando un rango de potencia en un rango entre 180 y 280 Kw y lograr una optimización adecuada del proyecto.

## 5.1. Planeamiento General del Proyecto

### 5.1.1. Antecedentes

Este capítulo presenta el detalle del diseño conceptual y las principales características definidas para cada una de las estructuras componentes de la Mini central Hidroeléctrica de Waspanona. La conceptualización del diseño del proyecto se basa en los resultados del proceso de investigación que incluye las realizadas en el campo y en gabinete, que condujo a la identificación de la mejor alternativa de desarrollo a nivel energético.

Dentro de estas investigaciones se puede citar a las realizadas durante fase de optimización e investigación que incluyen a los estudios topográficos, hidrológicos, geológicos, geotécnicos, evaluación de costo, Ambiental y de Generación ejecutados a nivel de Factibilidad.

### 5.1.2. Descripción General del Proyecto

El esquema seleccionado y optimizado tiene las siguientes características:

#### A. PRESA.

La presa es de tipo Contrafuertes con loza plana de concreto reforzado, con vertedero integrado en el centro de la presa con el nivel de cresta a la cota 255.00 msnm Tendrá un nivel de coronamiento a la cota 258.00 msnm y una longitud total de 43.56 metros, incluyendo la longitud del vertedero.

La presa principal en la zona del vertedero tendrá una altura máxima de 5.4 metros, con un ancho de cresta de 0.5 metros y una altura máxima en el estribo izquierdo de 7.1 metros en la zona de la Obra de Toma.

#### B. EMBALSE

La construcción de la presa en el sitio de Waspanona formará un embalse con área de 1.85 hectáreas a la cota normal de operaciones de 255.00 msnm y 2.65 hectárea al Nivel de Aguas Máximo

Extraordinario en la cota 257.13 m.s.n.m. alcanzado durante el pase de la crecida de 500 años igual a 125.44 m<sup>3</sup>/s.

### **C. VERTEDERO**

La presa tendrá integrado en su parte central, un vertedero tipo cresta libre con forma rectangular para desalojar la crecida de diseño de 125.44 m<sup>3</sup>/s con un período de retorno de 500 años. La longitud del vertedero es de 21 metros y una altura de 5.4 metros.

Durante el desalojo de la crecida de 100 años se alcanzará un nivel en el embalse igual a 256.80 msnm y un nivel de 257.13 msnm durante el desalojo de la crecida de 500 años.

### **D. OBRA DE TOMA**

La Obra de toma es una estructura cerrada tipo poso, para evitar la introducción de objetos a la tubería, con dos orificios de entrada cubiertos por rejillas, con tapa superior de concreto y un orificio para el mantenimiento cubierto con tapa metálica. Se localiza en la margen izquierda, con un caudal de diseño de 0.80 m<sup>3</sup>/seg.

La obra de toma será construida de concreto reforzado y tendrá una dimensión de 2.66 x 2.81 metros con una altura de 5.3 metros.

### **E. TUBERIA DE CONDUCCION**

Se localiza sobre la margen izquierda y será construida de acero. En la mayor parte de su recorrido irá de forma superficial sostenida sobre silletas de concreto reforzado para evitar mayores excavaciones sobre afloramientos rocosos, con un pequeño tramo de forma enterrada a la salida de la obra de toma.

Tendrá una longitud de 156 metros con un diámetro de 24" y un espesor de 6.4 mm entre la toma y el reductor a la llegada a casa de máquinas. En la entrada a casa de máquinas y antes de llegar a las turbinas la tubería tendrá un diámetro de 17" con un espesor de 6.4 mm.

Tiene 7 bloques de anclaje distribuidos a todo lo largo y 21 bloques de soporte o silletas en el tramo aéreo. La tubería se fijará en las silletas con la ayuda de bridas metálicas.

**F. CASA DE MAQUINAS**

La casa de máquinas ubicada sobre la margen izquierda servirá para alojar una turbina Francis de eje horizontal y el resto de equipos auxiliares. La potencia instalada de la central será de 243.4 Kw con una generación media anual de 1339.32 Mwh para un nivel de desfogue de 217.72 msnm y una carga bruta de 37.28 metros.

La estructura de la casa de máquinas será de mampostería confinada con techo de zinc sobre estructura metálica y ventanales de aluminio y vidrio, tendrá un área construida total de 74 m<sup>2</sup> y una altura máxima de 5.8 metros. Las dimensiones generales de casa de máquinas son de 7.75 metros de ancho y un largo de 9.0 metros con espacio para oficina administrativa, sala de control y área para el mantenimiento de los equipos.

**G. CANAL DESFOGUE**

Una estructura de canal de concreto reforzado permitirá retornar las aguas turbinadas al río Waspanona, tendrá forma rectangular con una longitud de 24.0 metros y un ancho de fondo de 0.8 metros. En la parte final se ensanchará hasta 2.45 metros y se colocarán bolones en la superficie para disminuir la corriente al reintegrar el flujo al río.

**H. LINEA DE TRANSMISION**

Una Línea de 24.9 KV sobre postes de madera y 600 metros de longitud, será necesaria para conectar la PCH Waspanona a la línea de Distribución entre la central Siempre Viva y el pueblo de Bonanza.

## **5.2. Obras Principales**

### **5.2.1. Criterio para la selección de la solución**

El criterio fundamental para la selección de la solución para el desarrollo conceptual de la Mini central Hidroeléctrica (MCH) Waspanona, es lograr el aprovechamiento máximo del potencial del energético del tramo medio de la cuenca del Río Waspanona situado en el municipio de Bonanza en la Región Autónoma Atlántica Norte (RAAN).

La topografía del sitio permite la construcción de una presa bastante alta, hasta unos 20 a 25 metros de altura, y las condiciones topográficas aguas arriba del sitio de presa son favorables para la formación de un embalse de regulación, pero debido a la infraestructura existente en la zona solo es posible llegar hasta una altura de unos 8 metros.

Se analizó un esquema de desarrollo con una pequeña capacidad de almacenamiento para la regulación diaria en la época seca, para que la PCH Waspanona pueda ser utilizada para seguir la curva de la demanda durante las horas picos. El nivel de cresta de la presa se estableció a la cota 255.00 msnm y el nivel de desfogue a la cota 217.70 msnm para una caída bruta de 37.30 metros. El Nivel mínimo de Operación se estableció a la cota 253.50 msnm lo que permite contar con un volumen útil de unos 20,000 m<sup>3</sup>, lo cual le ofrece una autonomía de unas 7 horas a la PCH Waspanona.

### **5.2.2. Características de la solución seleccionada**

El sitio de Waspanona se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 754605 Longitud Este y 1549816 Latitud Norte a unos 5.5 Kilómetros del poblado de Bonanza al lado del camino que comunica la hidroeléctrica “Siempre Viva”, propiedad de HEMCO con Bonanza Urbano.

La Casa de Máquinas tiene las dimensiones necesarias para albergar una sola unidad – tipo Francis de eje horizontal y resto de equipo auxiliares y finalmente, desfoga las aguas de nuevo al mismo Río Waspanona.

### 5.2.3 Descripción General y aspectos de diseño conceptual de la alternativa seleccionada

#### A. Embalse

Con la construcción de la presa en el sitio de Waspanona se formará un pequeño embalse de regulación horaria que permitirá y facilitará la entrada del caudal de diseño en la obra de toma.

El embalse tendrá un área de 1.85 hectáreas en la elevación 255.00 msnm que corresponde a la cota normal de operaciones y un área de 2.65 hectáreas en el Nivel de Aguas Máximo Extraordinario ubicado en la cota 257.13 msnm, que corresponde al nivel que es alcanzado durante el pase de la crecida de 500 años correspondiente a un caudal igual a 125.44 m<sup>3</sup>/s.

Una vista en planta del embalse puede verse en los planos CAP001, LNC001y LNC002 en el Anexo.

#### B. Presa y Toma

La presa es de tipo Contrafuertes con loza plana de concreto reforzado, con vertedero integrado en el centro de la presa con el nivel de cresta a la cota 255.00 msnm. Tendrá un nivel de coronamiento a la cota 258.00 msnm y una longitud total de 43.56 metros, incluyendo la longitud del vertedero.

La presa principal en la zona del vertedero tendrá una altura máxima de 5.4 metros, con un ancho de cresta de 0.4 metros y una altura máxima en el estribo izquierdo de 7.1 metros en la zona de la Obra de Toma.

#### Presa

Debido a las condiciones topográficas y geológicas imperantes en el sitio de presa Waspanona, se ha definido la construcción de una presa de tipo contrafuerte con una losa plana de concreto reforzado y con el vertedero integrado en el cuerpo de la misma con un nivel de cresta a la cota 255 msnm.

La presa de cierre estará ubicada a unos 900 metros aguas abajo del sitio donde actualmente se ubica el puente de Waspanona, en el camino que une el poblado de Bonanza con la Planta Siempre Viva.

La presa tendrá una altura máxima de 7.10 metros y una longitud de 43.56 metros incluyendo la longitud del vertedero que está ubicado en la parte central de la misma y su ancho será de 0.50 metros.

El nivel de corona de la presa se ubica en la cota 258 msnm y su altura en la parte donde se ubicará el vertedero estará es de 5.40 metros con una cota de 255 msnm. Vale la pena mencionar que la construcción de la presa en este sitio no implica la remoción pobladores ni de infraestructura existente.

Adicionalmente la presa constará de seis contrafuerte que evitaren su volteo y deslizamiento debido a la presiones del embalse, los cuales tendrán una altura promedio de 3.75 metros un ancho de 0.50 metros con una pendiente aguas debajo de 0.75H a 1.00 V y ancho de base de 5.60 metros.

Vista de la planta y secciones de la presa se presentan en los Planos CAP001, CAP002 Y CAP003 en el Anexo

### **Obra de Toma**

La Obra de Toma se localiza en la margen Izquierda y está en capacidad de desviar los caudales embalsados hacia la tubería de conducción que permitirá recibir el caudal de diseño de 0.800 m<sup>3</sup>/seg. Es una estructura cerrada tipo poso cuya forma es adecuada para evitar la introducción de objetos no deseados a la tubería de conducción, con tapa superior de concreto y un orificio para el mantenimiento cubierto con tapa metálica; como parte de su estructura consta de una rejilla, el cual dispondrá del equipo manual necesario para la colección de los desperdicios que son atrapados y que luego serán desechados.

La obra de toma será construida de concreto reforzado y tendrá una dimensiones de 2.66 metros x 2.81 metros con una altura de 5.3 metros.

El ingreso a la obra de toma puede ser cerrado mediante dispositivo o ataguías plásticas o de madera para la ejecución de trabajos de rehabilitación y mantenimiento de la rejilla de limpieza y para el vaciado de la tubería de aducción.

En el caso de la presa de cierre del proyecto, se cumple con los requisitos mínimos de estabilidad correspondiente y la recomendación de una posible solución para el desvío del río durante la construcción de las obras de presa y toma, tienen que ser definidas durante la fase de diseño final del proyecto.

Las secciones principales de la obra de toma se presentan en los Planos CAP002 y CAP003 que aparecen en el Anexo.

### C. Vertedero

La presa tendrá integrado en su parte central y a una distancia de 10.67 metros partiendo de la margen izquierda, un vertedero tipo cresta libre cuya elevación de la cresta esta sobre los 255.00 msnm

A fin de permitir el desalojo de la crecida de diseño de 125.44 m<sup>3</sup>/s calculada para un período de retorno de 500 años, el aliviadero tendrá una longitud de 21 metros y una altura de 5.40 metros.

Se estima que durante el desalojo de una crecida de 100 años el nivel del embalse alcanzará una cota igual a 257.13 msnm durante el desalojo de la crecida de 500 años.

Para el diseño hidráulico se utilizaron los criterios de velocidades máximas y mínimas, velocidades a través de rejillas comúnmente utilizadas en este tipo de proyectos; así como la avenida de diseño propia del sitio de presa, sobre presiones en las conducciones a presión, rugosidades en las conducciones, etc.

Detalles en Planta y Sección de esta obra se presentan en los Planos CAP001 y CAP002 que aparecen en el Anexo.

#### **D. Disposición para la limpieza de sedimentos**

Los ríos de la vertiente Atlántica de Nicaragua y específicamente en la zona de RAAN son cuerpos de agua que contienen una composición de sedimentos con características muy particulares que se refleja en bajo arrastre de fondo y una carga en suspensión muy alta debido a las continuas precipitaciones prevalecientes en la zona; principalmente durante eventos de crecidas.

En cualquier caso y como una limitante propia del área de estudio se puede indicar que no se cuentan con registros de la carga ni del arrastre de sedimentos directos en la cuenca, ni en el Río Waspanona; por lo tanto se han realizado algunas estimaciones basadas en datos estadísticos regionales y los resultados de los estudios realizados durante la ejecución del Plan Maestro de Energía en los años 80.

Con los datos anteriores la carga estimada de sedimentos anuales totales a esperar en el sitio de presa y toma del P.C.H. Waspanona es de unas 3600 toneladas.

Asumiendo un peso del material arrastrado saturado igual a  $1.2 \text{ ton/m}^3$  se tendrá entonces un volumen de sedimentos al año del orden de los  $3000 \text{ m}^3$ , que podrían eventualmente llegar a acumularse en el sitio de presa poniendo en peligro su vida útil.

Por su diseño geométrico la presa permitirá el paso de gran cantidad de dichos sedimentos en suspensión por encima de ella durante la época de crecidas, adicionalmente y para facilitar la operación del lavado de sedimentos, se ha dotado a la presa de una descarga de fondo, localizada sobre la margen izquierda al lado de la obra de toma. Esta estructura será un orificio cuadrado con altura de 0.8 metros y ancho de 0.8 metros, en la parte final tendrá un canal de descarga de concreto reforzado de 10 metros de largo y 1.2 metros de alto.

Limpiezas mayores se deberán realizar durante el periodo antes señalado y en la época más seca por medio de la utilización de maquinaria pesada.

Una vista de la obra de descarga de fondo puede ser vista en los planos CAP001 y CAP002 en el Anexo.

## **E. Conducción**

### **E.1. Obras de conducción**

Tomando en consideración las condiciones topográficas y geológicas de la ladera por la que se desplaza la línea de conducción, se hace necesario minimizar al máximo las excavaciones requeridas. Es por esta razón que se ha seleccionado la opción de tubería de conducción, en lugar de canal a cielo abierto.

La obra de conducción estará ubicada en la margen derecha y llevaran el caudal de diseño de 800 litros/seg hasta el sitio de casa de máquinas.

Esta estructura localizada en la margen izquierda será construida de acero y la mayor parte de su recorrido irá de forma superficial sostenida sobre silletas de concreto reforzado para evitar mayores excavaciones sobre afloramientos rocosos, con un pequeño tramo de unos 32 metros de forma enterrada a la salida de la obra de toma.

La tubería tendrá una longitud total de 156 metros con un diámetro de 24" y un espesor de 6.4 mm entre la toma y el reductor a la llegada a casa de máquinas. En la entrada a casa de máquinas y antes de llegar a las turbinas la tubería tendrá un diámetro de 17" con un espesor de 6.4 mm.

Durante su recorrido la tubería tendrá 7 bloques de anclaje distribuidos a todo lo largo a fin de permitir la estabilidad de la misma y 21 bloques de soporte o silletas en el tramo aéreo. La tubería se fijará en las silletas con la ayuda de bridas metálicas.

En los Planos CAP001, LNC001 y LNC002 que se presentan en el Anexo, pueden verse diferentes detalles de la tubería de conducción.

## **E.2. Selección del diámetro de la conducción**

Como fue mencionado anteriormente, la tubería conducción tiene 156 metros de longitud desde su comienzo en la obra de toma, hasta el tramo final en la casa de máquinas. Con el propósito de determinar el diámetro de la conducción, y tomando en consideración la optimización preliminar presentada en el capítulo 4, donde se determinó que el rango debía estar entre 600 y 900 l/s para seleccionar el caudal de diseño, se procedió a determinar el diámetro más económico utilizando una combinación del rango de caudales seleccionados con un rango de diámetro definido de acuerdo a los elementos hidráulicos de este tipo de tubería.

El dimensionamiento de las obras en la optimización final se realizaron en base a siete valores diferentes de caudales de diseño, siendo estos valores 600, 650, 700, 750, 800, 850 y 900 l/s, para los cuales como primera aproximación se determinó el diámetro óptimo de forma preliminar, con ayuda de fórmulas empíricas, dando como resultado que entre los diámetros 22, 24 y 26 pulgadas se debería encontrar el óptimo.

Como siguiente paso, se realizaron las estimaciones de cantidades de obras, capacidad instalada y energía media anual de veinte y una alternativas seleccionadas nombradas como T1C1, T1C2, T1C3, T1C4, T1C5, T1C6, T1C7, T2C1, T2C2, T2C3, T2C4, T2C5, T2C6, T2C7, T3C1, T3C2, T3C3, T3C4, T3C5, T3C6 y T3C7, las que resultaron de diferentes combinaciones de los diámetros de tubería definidos preliminarmente con los caudales seleccionados.

Luego de la definición de las cantidades de obras y del presupuesto para cada alternativas se procedió a la elaboración de un análisis económico, cuyos resultados se presentan en el Capítulo 7, y cuyos resultados señalan que la alternativa con mejores índices económicos es la que resulta de combinar un diámetro de 24 pulgadas con un caudal de 800 l/s, nombrada como T2C5.

### **E.3. Trazado de la conducción y comportamiento hidráulico**

Dadas las condiciones topográficas y geológicas anteriormente señaladas, se ha definido que la tubería de conducción operará bajo un comportamiento hidráulico de flujo a presión. Además, el trazado de la tubería discurrirá por el terreno acomodándose a la topografía; de tal manera que no presenta puntos bajos a lo largo de su alineamiento (tipo sifón invertido).

Como condición necesaria para evitar puntos de presión negativa, en ningún caso se debe cruzar la línea energética imaginaria que se establece entre el nivel de agua a la salida de la toma y el punto de llegada al embalse de regulación.

La estructura de conducción se localiza sobre la margen derecha y será construida de acero. En la mayor parte de su recorrido irá enterrada con un pequeño tramo de forma superficial al atravesar las zonas con pendientes más fuertes.

Como se ha mencionado tendrá una longitud de 156 metros con un diámetro de 24” y un espesor de 6.4 mm entre la toma y antes de llegar a un reductor a la llegada a casa de máquinas. En la entrada a casa de máquinas y antes de llegar a las turbinas, la tubería tendrá un diámetro de 17” con un espesor de 6.4 mm.

Durante su recorrido y para soporte de la tubería se construirán 7 bloques de anclaje distribuidos a todo lo largo y 21 bloques de soporte o silletas en el tramo aéreo. La tubería se fijará en las silletas con la ayuda de bridas metálicas.

En el tramo enterrado la tubería será colocada en una trinchera, para cubrirla posteriormente. Por las condiciones de este tipo de tubería, el relleno de “cama” para la colocación de la misma, implican materiales especiales – arenas y gravas graduadas – necesarios para garantizar la estabilidad estructural del camino de construcción encima de la tubería.

**E.4. Canal de descarga:**

Una estructura de canal de concreto reforzado permitirá retornar las aguas turbinadas al río Waspanona, tendrá forma rectangular con una longitud de 24.0 metros y un ancho de fondo de 0.8 metros. En la parte final se ensanchará hasta 2.45 m y se colocarán piedras bolones en la superficie para disminuir la corriente al reintegrar el flujo al río.

**F. Casa de Máquinas**

La casa de máquinas ubicada sobre la margen Izquierda servirá para alojar una turbina Francis de eje horizontal y el resto de equipos electromecánico necesario para obtener la energía y la potencia definida para el proyecto. La potencia instalada optimizada de la central será de 243.39 Kw con una generación media anual de 1,339.32 Mwh, con un nivel de desfogue fijado en la cota 217.70 msnm con el cual se obtiene una carga bruta de 37.3 m al Nivel de Aguas Normales de Operación.

El diseño y la estructura de la casa de máquinas se ha definido de forma simple de mampostería confinada con techo de zinc sobre estructura metálica y ventanales de aluminio y vidrio, con un área construida total de 74 m<sup>2</sup> y una altura máxima de 5.8 m. Las dimensiones generales de casa de máquinas son de 7.75 metros de ancho y un largo de 9.0 metros con los espacios para oficina administrativa, sala de control y área para el mantenimiento de los equipos

Para el prediseño estructural de la Casa de Máquinas se utilizaron los criterios comúnmente empleados en proyectos de esta magnitud y apegados a los documentos técnicos o manuales de los distintos organismos nacionales e internacionales, que tienen que ver con la zona de ubicación del proyecto, topografía, tipo y magnitud del equipo electromecánico etc.

Detalle y vista de secciones transversal de la Casa de Máquinas puede verse en los Planos LNC001, CM001 y CM002 que se presentan en el Anexo.

## **G. Equipo Electromecánico**

A continuación se describen las características principales de los equipos electromecánicos:

Como se ha mencionado la casa de máquinas alojará al equipo electromecánico necesario para generación de la energía definida para el proyecto, dentro de los cuales podemos mencionar los Generador Síncrono trifásico, Tablero de supervisión y control Regulador de velocidad, regulador de voltaje, Subestación de Elevación de Voltaje y Cables subterráneos en baja Tensión

A continuación se detallan las principales características de cada uno los equipos electromecánicos mencionados anteriormente:

### **G.1. Generador Síncrono trifásico**

Compuesto por un generador síncrono trifásicos.

Datos Técnicos:

- Salida clasificada: 300 kW
- Frecuencia clasificada: 60Hz
- Velocidad clasificada: 1,800rpm
- Voltaje clasificado: 240/480V
- Trifásico y de cuatro cables
- Protección: IP21
- Aislamiento: clase H
- Estándares: Estándar de la nema IEC34 e ISO8528
- Número de polo : 4



## G.2. Tablero de supervisión y control

Panel de control suministrado con botones e interruptores de control e indicación mediante lámparas piloto y medidores de las principales variables eléctricas y mecánicas de la unidad, entre las cuales deben estar: Potencia activa, Potencia reactiva Corriente (trifásica), Voltaje (trifásico), Frecuencia (Hz), Energía (kWh), (Temperatura de metal de cojinetes, Temperatura de aceite de cojinetes, Temperatura de devanados, velocidad de rotación (RPM).

Con barras de cobre para tres fases con su neutro y sistema de tierra, con capacidad nominal de 1000 amperios, 600 V.

Deberá contar como mínimo con las siguientes protecciones eléctricas:

No.	FUNCIÓN
1	Sobrevoltaje
2	Bajo voltaje
3	Sobre-corriente
4	Falla a tierra de estator
5	Potencia inversa
6	Desbalance de fases
7	Sobre-baja velocidad

## G.3. Regulador de velocidad y regulador de voltaje

Equipo necesario para la operación y regulación del voltaje y frecuencia de salida del generador, sus características técnicas principales son:

- Temperatura ambiente de operación: -100C a 60 0C
- Humedad relativa: 30% a 90%
- Altitud de trabajo: 1,500 msnm
- Voltaje al impulso: a frecuencia industrial, 2000V AC, 1 minuto.
- Ajuste de error de voltaje Offset:  $\pm 1\%$  o menor.
- Funciones de control: Control de voltaje constante, control de campo constante, límite de control de mínima excitación y límite de control de sobre-excitación.

- Protección de baja frecuencia.
- Exactitud de regulación de tensión:  $>0.1\%$

#### G.4. Subestación de Elevación de Voltaje

De tipo intemperie, compuesta por tres unidades monofásicas de transformadores de distribución de 100 kVA, 14.4/24.9 KV, 240/480, dispuestos a nivel del piso en plataforma de concreto, que serán los encargados de la transformación y elevación de voltaje de salida de la unidad generadora.



La siguiente tabla nos muestra las características técnicas de los transformadores utilizados normalmente en distribución señalándose la alternativa escogida para el proyecto.

Tabla de detalle de datos técnicos de transformadores de distribución.

TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS - DISTRIBUCIÓN									
VP: HASTA 25 KV	AUTOPROTEGIDOS (CSP)				CONVENCIONALES (CNV)				
VS: HASTA 1.2 KV	DIMENSIONES			PESO	DIMENSIONES				PESO
POTENCIA	A	L	H	W	A	L	H	W	
KVA	mm	mm	mm	Kg	mm	mm	mm	mm	Kg
3	520	430	870	88	520	430	820	79	
5	520	430	920	110	520	430	870	98	
10	520	430	920	132	520	430	870	122	
15	540	450	970	150	540	450	920	138	
25	590	500	1020	210	590	500	970	195	
37,5	640	550	1020	254	640	550	1020	240	
50	640	550	1020	295	640	550	1020	277	
75	***	***	***	***	740	600	1170	380	
100	***	***	***	***	840	665	1170	490	
167	***	***	***	***	840	695	1270	580	

Para potencias superiores o distintas a las indicadas en esta tabla consultar a nuestras oficinas  
 Cuando se requieran accesorios adicionales, consultar con nuestras oficinas  
 Las dimensiones son aproximadas y sujetas a cambios. El peso total es aproximado  
 NORMA DE FABRICACION: ANSI C57.12

#### G.5. Cables subterráneos en baja Tensión

Los cables de potencia, que unirán los transformadores elevadores de la subestación, con la unidad generadora, se extenderán en canalización subterránea en tubería conduit pvc de 4" de diámetro.

Todas estas conexiones deberán ser hechas mediante canalización subterránea con tubería conduit pvc de diámetro de 4" (pulgadas), conductores de cobre THHN de 500 MCM, dos conductores por fase.



Los detalles de las características técnicas de diferentes tipos de conductores pueden ser vistos en la tabla siguiente; en donde se señala el conductor escogido para este proyecto.

CABLE THWN/THHN 600 V.

Código	Calibre (AWG/ kCM)	Conductor		Espesor nominal del aislamiento / nylon (mm)	Diámetro exterior aprox. (mm)	Peso (kg/km)
		Número de hilos	Area (mm <sup>2</sup> )			
1101140	14	19	2.082	0.38/0.10	2.9	3
1101120	12	19	3.307	0.38/0.10	3.4	4
1101100	10	19	5.260	0.51/0.10	4.3	6
1101080	8	19	8.367	0.76/0.13	5.7	10
1101060	6	19	13.300	0.76/0.13	6.7	15
1101040	4	19	21.150	1.02/0.15	8.5	24
1101020	2	19	33.620	1.02/0.15	10.1	36
1101110	1/0	19	53.480	1.27/0.18	12.7	56
1101210	2/0	19	67.430	1.27/0.18	13.9	70
1101310	3/0	19	85.010	1.27/0.18	15.2	87
1101410	4/0	19	107.200	1.27/0.18	16.7	108
1102510	250	37	126.700	1.52/0.20	18.5	128
1103010	300	37	152.000	1.52/0.20	19.9	152
1103510	350	37	177.300	1.52/0.20	21.3	177
1104010	400	37	202.700	1.52/0.20	22.5	201
1105010	500	37	253.400	1.52/0.20	24.7	249

CAPACIDAD DE CORRIENTE DE CONDUCTORES DE COBRE AISLADOS THHW (AMPERES)

Código	Calibre (AWG)	60°C	75°C	90°C
1101140	14	20	20	25
1101120	12	25	25	30
1101100	10	30	35	40
1101080	8	40	50	55
1101060	6	55	65	75
1101040	4	70	85	95
1101020	2	95	115	130
1101110	1/0	125	150	170
1101210	2/0	145	175	195
1101310	3/0	165	200	225
1101410	4/0	195	230	260
1101250	250	215	255	290
1101300	300	240	285	320
1101350	350	260	310	350
1101400	400	280	335	380
1101500	500	320	380	430

## H. LINEA DE INTERCONEXION PARA DISTRIBUCION

### H.1. Enlace con la red de distribución existente

El sistema de interconexión que unirá la central hidroeléctrica Waspanona, con la línea de distribución que comunica la central la hidroeléctrica “Siempre Viva”, propiedad de HEMCO, consistirá en una línea de distribución trifásica aérea en postes de concreto centrifugados tronco cónico, a circuito sencillo de 14.4/24.9 kV, conductor 4/0 AAAC. Las salidas de esta línea de distribución se alimentarán desde las terminales de media tensión de salida por secundario en 14.4/24.9 kV, de la subestación elevadora de voltaje.



La longitud de esta línea de interconexión es de aproximadamente 600 mt de longitud.

Las estructuras aéreas que conformarán la red de distribución primaria de interconexión, se realizarán bajo las normas de construcción vigentes (Normas de construcción de redes de media tensión 14.4/24.9 kV y baja tensión en poste redondo de concreto, ENEL-1998).

Por ser la línea de interconexión una línea de distribución trifásica sin mayor relevancia técnica, los puntos de inicio y final de conexión de esta, se ejecutarán de manera general de la siguiente forma:

**Punto de partida (inicio) de la red trifásica:** Una estructura conformada por un banco de transformadores trifásicos, constituido por tres transformadores de 100 KVA cada uno, con salida de voltaje en 14.4/24.9 kV, en montaje de diseño G-360 a nivel de piso y conexión aérea en poste de concreto de 45 pies, con salida en cruceta en estructura con dispositivos de protección a cortacircuitos, uno por cada fase.

**Punto final de interconexión de la red trifásica:** Una estructura con conexión aérea en poste de concreto de 45 pies, con salida en cruceta en estructura interconectada a la red existente, mediante conectores para línea viva y estribo.

## **H.2 Aspectos técnicos y mecánicos de la línea de distribución.**

### **H.2.1. Generalidades.**

De manera general se especifica que todas las estructuras de diseño de la línea de distribución de interconexión del Proyecto Hidroeléctrico Waspanona, deben cumplir con las exigencias de resistencia de los esfuerzos en las condiciones normales de:

- Cargas verticales debidas al peso propio, conductores y aisladores.
- Cargas transversales debidas a la presión del viento sobre los conductores y estructuras.
- Cargas longitudinales debidas al tiro de los conductores.

### H.2.2. Postes de Concreto, características técnicas

En este diseño la mayoría de las estructuras se regirán en postes de concreto tronco cónico de 12 m (40 pie), del tipo centrifugados y tendrán las siguientes características:

Geometría	
Longitud	12 m
Diámetro exterior base	34.5 cm
Diámetro interior base	16.5 cm
Diámetro externo punta	16.5 cm
Diámetro interno punta	9 cm
Resistencia de diseño	255 kg
Peso del poste	1,090 kgs
Carga de ruptura	2.5 kN

### H.2.3. Crucetas de acero, características técnicas

Las dimensiones y características de las crucetas a utilizarse corresponderán a las especificadas en las hojas de detalle por cada estructura a erigirse. Todas las crucetas serán de acero galvanizado, debiendo cumplir estas con las normas ASTM-123-78. El galvanizado debe cumplir con las normas ASTM A-123 y ASTM – 153.

### H.2.4. Conductores, características técnicas

En la instalación de la línea de interconexión en 14.4/24.9 kV, se utilizará el conductor de aluminio cableado desnudo AAAC, 4/0, construido de usando alambre de aleación ECH-19, con las características técnicas especificadas en la siguiente tabla:

Tabla de conductores de aluminio AAAC

Código	Calibre	Sección	Equivalente ACSR de igual Diámetro		No. de Alambres x Diámetro	Diámetro Total	Peso Total	Resistencia a la Tracción Mínima	Resistencia Máxima @ 20°C
	MCM	mm <sup>2</sup>	AWG ó MCM	Al					
Akron	30.58	15.5	6	6/1	7x1.68	5.04	42.44	503	2.161
Alton	48.69	24.7	4	6/1	7x2.12	6.36	67.56	801	1.357
Ames	77.47	39.3	2	6/1	7x2.67	8.02	107.5	1,270	0.853
Azusa	123.3	62.5	1/0	6/1	7x3.37	10.11	171	2,023	0.536
Anaheim	155.4	78.7	2/0	6/1	7x3.78	11.35	215.6	2,452	0.425
Amherst	195.7	99.2	3/0	6/1	7x4.25	12.74	271.5	3,083	0.337
Alliance	246.9	125.1	4/0	6/1	7x4.77	14.31	342.6	3,884	0.265
Butte	312.8	158,5	266.8	26/7	19x3.26	16.3	434.9	4,978	0.211
Canton	394.5	199,9	336.4	26/7	19x3.66	18.3	547.4	6,013	0.167
Cairo	465.4	235,8	397.5	26/7	19x3.98	19.88	645.7	7,098	0.142
Darien	559.5	283,5	477	26/7	19x4.36	21.79	776.3	8,525	0.118
Elgin	652.4	330,6	556.5	26/7	19x4.71	23.53	905.2	9,943	0.101
Flint	740.8	375,4	636	26/7	37x3.59	25.16	1,028	9,943	0.0892
Greeley	927.2	469,8	795	26/7	37x4.02	28.15	1,287	11,014	0.0713

### H.3. Derecho de Servidumbre

En el caso particular del derecho de vía, para la línea de interconexión del “Proyecto Hidroeléctrico Waspanona” corresponde a una franja de 7 metros o sea 3.5 metros correspondiente a un área total de 3500 metros cuadrados, que cubren a ambos lados del eje de la base de apoyo, de los cables de la línea de distribución para interconexión.

### H.4. Descripción punto de conexión.

El punto de conexión como fue descrito anteriormente se ubicará a una distancia de 600 metros de la casa de máquinas de Waspanona y se enlazará con la línea existente de 24.9 propiedad de la empresa HEMCO, que transporta la energía generada por la planta de Siempre Viva al Municipio de Bonanza. La existencia de esta línea permitirá además del punto de enlace transportar la energía generada en Waspanona hasta el municipio antes mencionado.

### I. Camino de Acceso.

Para lograr un acceso confiable a las instalaciones de la Casa de Maquinas es necesaria la construcción de unos 200 metros de camino de todo tiempo, el cual debe ser diseñado con un ancho

de 4 metros y complementado con las instalaciones civiles necesarias para su funcionamiento óptimo y durante la operación y mantenimiento del mismo.

Para lograr el acceso a la estructura de la presa y sus instalaciones complementarias se hará uso del camino existente que comunica a la planta de Siempre Viva con el poblado de Bonanza. Este camino es de todo tiempo y sus condiciones son óptimas para ser utilizados tanto en la construcción del proyecto como en su operación y mantenimiento.

### **III Unidad:**

#### **Rentabilidad y Factibilidad del Proyecto**

Una vez concluido el Diseño se procede analizar las alternativas realizando múltiples combinaciones de los componentes de la Minicentral tomando en cuenta que el proyecto tenga el menor impacto ambiental posible.

## 6.1. Introducción

Tomando en consideración los resultados obtenidos durante la fase de optimización preliminar de alternativas cuyos resultados fueron expuestos en el capítulo 4, se procedió a realizar un análisis de los costos de obras para el proyecto Waspanona en un rango de caudales entre 600 y 900 l/seg.

El procedimiento aplicado en el análisis de costos, fue la definición de los costos de inversión de las diferentes alternativas evaluadas en el capítulo 4, utilizando las cantidades de obras estimadas para cada una de ellas y la base de costos actuales de los costos unitarios de las diferentes actividades involucradas en este tipo de proyecto. Los valores utilizados en el análisis de costos fueron los siguientes:

- Caudales de diseño 600, 650, 700, 750, 800, 850 y 900 l/seg.
- Diámetros de tubería de aducción 22, 24 y 26 pulgadas.

En las combinaciones de las alternativas analizadas, se mantuvieron fijas las cantidades de obras y sus precios unitarios de las estructuras tales como presa, obra de toma, casa de máquinas y canal de restitución; variándose las dimensiones de las obras tales como tubería de conducción y equipos electromecánicos, en base al caudal y al diámetro de la tubería.

## 6.2. Base de la estimación de costos

Considerando las características de las obras del proyecto se prepararon costos basados en los requerimientos e insumos de cada actividad típica, considerando costos de proyectos similares y de los registros del banco de costos manejados por COHISA.

Para la definición de los precios se tomaron los siguientes parámetros:

**Mano de obra:** Se tomó en consideración los salarios de mano de obra propios de Nicaragua.

**Materiales:** Precios estándares de materiales de construcción del mercado local, la lista de precios de materiales manejadas en la zona del proyecto e índices de precios internacionales.

**Maquinaria y equipo:** Los costos de este rubro se calcularon con base a parámetros establecidos en proyectos similares construidos en Nicaragua tales como Río Negro.

**Cantidades:** Para el cálculo de las cantidades de obras se utilizaron los esquemas definidos para cada alternativa, en el presupuesto se asumieron algunos costos por trabajos de mitigación de riesgos y protección de taludes. No indicados en planos pero que se pensó necesarios incluir.

**Equipo electromecánico:** Se tomaron relación de los costos del Kw instalados de equipos electromecánicos de proyectos similares.

**Línea de Distribución:** Se tomaron costos relativos de proyectos recientemente realizados por la empresa de distribución y los normados por el Instituto Nicaragüense de Energía (INE).

**Imprevistos de construcción:** Se ha tomado un 8% de imprevistos para las obras civiles y del 3% para el equipo electromecánico, valores tomado por experiencia de otros proyectos similares.

En los costos del dueño se incluyó una partida de costos imprevistos.

Todos los equipos necesarios para la ejecución del proyecto son disponibles en el mercado local a través de alquiler.

### **6.3. Alternativas definidas**

Como se fue mencionado, quince diferentes alternativas resultaron de las combinaciones definidas tomando como base el rango de caudales y los diferentes diámetros de la tubería de conducción.

#### 6.4. Análisis de Costos

Con los parámetros de evaluación definidos y para cada alternativa se procedió a determinar los volúmenes de obras y los costos respectivos, parámetros que fueron utilizados para el cálculo de los costos totales de inversión.

Otros parámetros calculados por alternativa fueron los valores de potencia (kw), energía media anual (kwh) y el costo del Kw instalado.

Los resultados de cada uno de estos parámetros para cada alternativa pueden verse en la Tabla 6-1 a continuación presentada.

**Tabla 6-1**  
**RESUMEN DE RESULTADOS**

ALTERNATIVA	CAUDAL	DIAMETRO DE TUBERIA	POTENCIA	ENERGIA	COSTO TOTAL INVERSION	COSTO KW INSTALADO
	l/seg	Pulgada	Kw	Kwh	US\$	US\$/Kw
T1C1	600	22	187	1166167	602358	3219
T1C2	650	22	201	1213802	613470	3052
T1C3	700	22	215	1253031	624269	2910
T1C4	750	22	228	1284588	634733	2789
T1C5	800	22	240	1305649	644820	2685
T1C6	850	22	252	1321547	654531	2594
T1C7	900	22	264	1332707	663825	2515
T2C1	600	24	190	1182585	611849	3224
T2C2	650	24	204	1233966	623529	3051
T2C3	700	24	219	1277328	634993	2904
T2C4	750	24	233	1313395	646209	2777
T2C5	800	24	246	1339319	657169	2677
T2C6	850	24	260	1360404	667856	2571
T2C7	900	24	273	1377116	678256	2487
T3C1	600	26	191	1192503	620334	3242
T3C2	650	26	207	1246144	632358	3064
T3C3	700	26	221	1291997	644215	2912
T3C4	750	26	235	1324343	656648	2774
T3C5	800	26	250	1359639	667375	2668
T3C6	850	26	264	1383849	678647	2569
T3C7	900	26	278	1403907	689711	2481

De acuerdo con los datos mostrados en la tabla anterior, se deduce que las alternativas T3C5, T3C6 y T3C7 son las que menor inversión requieren por Kw instalado. Sin embargo, para decidir el arreglo óptimo se hace necesario considerar además del costo del proyecto, el valor actual de todo el flujo de fondos generado por cada alternativa evaluada.

Un resumen de los principales componentes de la alternativa T3C6 se presenta en la tabla 6-2.

**Tabla 6-2**  
**Resumen presupuesto constructivo**

ITEM	TIPO DE OBRA	UNIDAD	COSTO
1	Presa vertedora	Global	55682,12
2	Estructuras de Obra de Toma	Global	5364,40
3	Descarga de fondo	Global	4356,50
4	Tubería de Conducción	Global	63905,54
5	Casa de máquinas y canal de desfogue	Global	29196,47
6	Canal de restitución	Global	11385,53
7	Otras Obras de infraestructura	Global	43150,00
8	Equipos electromecánica	Global	203.631,30
9	Imprevistos de Construcción	Global	23152,18
10	Gastos de Pre inversión y Desarrollo	Global	187.697,53
11	Intereses y Comisiones durante construcción	Global	51.125,52
	<b>Costos Total (US\$)</b>		<b>678647,10</b>

## 6.5. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos durante esta evaluación de costos y tomando como base los datos presentados en la tabla 7-1, se observa que la alternativa T3C6 es la que requiere de menor inversión por Kw instalado. Sin embargo, el análisis de la alternativa óptima, que tiene en cuenta no solo el costo inicial sino también el funcionamiento óptimo.

## 7.1. Análisis Ambiental

La identificación de los impactos que potencialmente pueden generar al ambiente todas las actividades que se desarrollarán como parte del proyecto, es un aspecto de mucha importancia dentro de la Evaluación Ambiental

En este capítulo se identificarán primeramente todos los posibles impactos ambientales que se puedan generar en las actividades del “**Proyecto MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA WASPANONA**”, en el municipio de Bonanza, RAAN. A continuación se hará un análisis y evaluación de los impactos identificados para determinar la importancia de cada uno de ellos y orientar los mayores esfuerzos a prevenir, mitigar o corregir aquellos que según la metodología utilizada reúnan el mayor puntaje lo que indica que son los más importantes.

El presente Análisis Ambiental se ha realizado con el objeto de disponer de una herramienta de gestión para el proyecto que se ejecutará en la parte rural del municipio de Bonanza, en el sector de la Mina Pioneer.

En la identificación de impactos se tomará en cuenta que el proyecto se ejecutará en una zona del país que presenta una fuerte intervención antropogénica, y donde prácticamente ha desaparecido la vegetación natural y los suelos muestran fuertes signos de deterioro por usos en el pasado.

La línea de actuación que se sigue en el presente estudio es aquella que permita conocer a priori para prevenir, si es posible, corregir o mitigar cualquier alteración o efecto negativo que se pueda producir sobre el medio natural y que pueda ser atribuida al desarrollo de las actividades del proyecto.

### 7.1.1. Conceptos

Es importante hacer comprensible para todos los sectores interesados del país, al igual que para las autoridades ambientales nacionales, el Análisis Ambiental que recoge el presente informe, por lo que a continuación se presentan una serie de conceptos que harán más fácil la interpretación del contenido que se presenta.

**Medio ambiente:** Sistema de elementos bióticos, abióticos, socioeconómicos, culturales y estéticos que actúan entre sí, con los individuos y con la comunidad en la que viven, determinando su relación y sobrevivencia.<sup>1</sup>

**Impacto ambiental:** Cualquier alteración significativa positiva o negativa de uno o más de los componentes del ambiente provocados por la acción humana y/o por acontecimientos de la naturaleza en un área de influencia definida<sup>2</sup>.

**Evaluación de impacto ambiental:** Es un estudio formal que se realiza para predecir las consecuencias ambientales, positivas y negativas, de proyectos de desarrollo. Estudia problemas, conflictos o limitaciones de recursos naturales que pueden afectar la ejecución del proyecto y examina los impactos que se generarán sobre la población, su territorio, sus medios de vida, o sobre otros proyectos aledaños. Además de predecir problemas potenciales, la EIA identifica las medidas para prevenir, minimizar o corregir los problemas y sugiere como adaptar al ambiente el proyecto propuesto.<sup>3</sup>

**Área de influencia:** El área de influencia de un proyecto se refiere a todo el espacio geográfico, incluyendo todos los factores ambientales dentro de el, que pudieran sufrir cambios cuantitativos o cualitativos en su calidad debido a las acciones en la ejecución de un proyecto, obra, industria o actividad.

**Gestión ambiental:** Conjunto de acciones, tareas y responsabilidades que se llevan a cabo por los niveles de dirección de un proyecto considerando los posibles impactos y efectos ambientales que se generarán. La gestión ambiental consiste en administrar y gestionar los componentes de proyectos de manera compatible con la legislación de conservación del medio ambiente. Los objetivos de una buena gestión ambiental son de mantener los ecosistemas y preservar la diversidad genética y biótica,

---

<sup>1</sup> Decreto 45-94. Reglamento de Permiso y Evaluación de impactos ambientales.

<sup>2</sup> Decreto No. 76-2006, Aprobado el 19 de Diciembre del 2006. Sistema de Evaluación Ambiental

<sup>3</sup> Evaluación de Impacto Ambiental, Procedimientos básicos para países en desarrollo. PNUMA, 1988.

respetar a las comunidades locales mediante la participación de éstas en la toma de decisiones y minimizar los efectos ambientales negativos.<sup>4</sup>

### **7.1.2. Acciones del proyecto que pueden generar impactos**

En esta parte del estudio se identifican aquellas acciones del proyecto que son susceptibles de generar impactos sobre el medio ambiente. Para facilitar la comprensión de este proceso se dividirán las acciones según las operaciones del proyecto en el orden que serán ejecutadas, son las siguientes:

#### ➤ Construcción del embalse

Esta actividad conlleva los principales impactos ambientales ya que incluye un cambio sustancial en el uso de la tierra, el traslado de familias, pérdida de vegetación nativa, pérdida de caminos de acceso, afectaciones a áreas silvestres y hábitat de fauna silvestre, migración de peces, deterioro de la calidad del agua debido a la sedimentación del embalse y otros factores que facilitan la proliferación de vegetación acuática, cambios en el régimen hídrico del río y la propagación de enfermedades relacionadas con el agua.

Otro impacto ocasionado por la excavación para la construcción del dique de la represa se refiere a accidentes que involucren personas o animales domésticos, para evitar este tipo de eventualidades, cada uno de los tramos excavados será aislada colocando una cerca de alambre de púas y letreros señalando el peligro.

#### ➤ Construcción y/o rehabilitación de vías de acceso

El proyecto incluye la rehabilitación de unos 300 m lineales de camino existente y la construcción de nuevas vías de acceso en un máximo de 900 m de longitud. Todas las obras se realizarán de manera manual, por tanto no es necesaria la introducción de ningún tipo de maquinaria. Los obreros serán

---

4 Procedimientos y metodologías para la evaluación de impacto ambiental. Proyecto SNIP/MEDE / BID/PNUD. Septiembre 1995.

contratados en los caseríos cercanos a la obra, de forma que tampoco sea necesario llevar personal desde comunidades alejadas para evitar el transporte y promover las oportunidades de empleo local.

En caso se considere necesario el uso de equipo pesado para la construcción de vías de acceso, se contratará el servicio a operadores locales (de manera primaria) y sólo en caso que no se encuentre oferta de este servicio, se realizará la contratación en otras localidades.

➤ Construcción de la línea de conducción

La conducción del agua desde el sitio de toma en la presa hasta la casa de máquina (generación de energía eléctrica) se realizará mediante un tubo de acero el cual será colocado sobre roca mediante la excavación y retiro del suelo (cuando se encuentre de forma subterránea) o sobre bases de concreto (cuando se disponga de manera superficial).

Un impacto ocasionado por la apertura de la excavación para la colocación de la tubería de conducción se refiere a accidentes que involucren personas o animales domésticos, para evitar este tipo de eventualidades, cada uno de los tramos excavados será aislada colocando una cerca de alambre de púas y letreros señalando el peligro.

➤ Construcción de la casa de máquina

El área donde se construirá la casa de máquina cubrirá una superficie de 50 m<sup>2</sup> máximo. Esta construcción será de concreto y desarrollada de manera manual.

El sitio donde se pretende construir la casa de máquina se localiza en la parte topográfica más baja del proyecto, muy cerca del río Waspanona, en un área cubierta por suelos arcillosos. Para mejorar la calidad del suelo se usará el material extraído en la excavación de la línea de conducción o de bancos de materiales existentes (sitios de explotación minera).

Un posible impacto ocasionado por la construcción de la casa de máquina se refiere a accidentes que involucren personas o animales domésticos, para evitar este tipo de eventualidades, el área de casa de máquina será aislada colocando una cerca de alambre de púas y un letrero indicando el peligro.

➤ Construcción de la línea de transmisión

La línea de transmisión tendrá una longitud aproximada de 270 m. Esta será construida a lo largo de un área ya intervenida y donde la vegetación nativa ha sido eliminada casi en su totalidad.

➤ Generación de energía eléctrica

La generación de energía eléctrica, razón principal del desarrollo de este proyecto, permitirá aumentar las horas de este servicio a la comunidad y reducirá la tarifa horaria. Esto se considera un beneficio directo a la población local. Además, la venta de certificados de reducción de emisiones es otro de los beneficios económicos y morales que forman parte de la justificación ambiental del desarrollo de este proyecto.

### **7.1.3. Factores ambientales susceptibles de recibir impactos**

Los principales factores en el medio ambiente que podrían eventualmente verse afectados por el desarrollo de este proyecto son los siguientes:

- ◆ Suelo, debido a que se inundará un área donde se creará el embalse y se realizarán algunas excavaciones superficiales.
- ◆ Agua, es posible que debido a que el proyecto de exploración geológica se realizará durante el período lluvioso, se produzcan fenómenos de erosión y parte del material excavado sea erosionado y afecte el agua de las quebradas, aumentando la proporción de sólidos.
- ◆ Biótico, debido a que se modificará el régimen hídrico del río Waspanona, se inundará una sección del río Waspanona.

En todo caso, el ecosistema tendrá mayor o menor capacidad de absorber los efectos que ocasionan las actividades que se desarrollarán como parte del proyecto.

El entorno natural está constituido por elementos y procesos interrelacionados, los cuales pertenecen a los siguientes sistemas:

- a) Medio físico
- b) Medio socioeconómico

Estos sistemas, a su vez, tienen otros subsistemas. De esta manera, el medio físico tiene como subsistemas el medio biótico, el medio abiótico y el medio perceptual; por su parte, el medio socioeconómico tiene como subsistemas el medio socio-cultural y el medio económico.<sup>5</sup>

A cada uno de estos subsistemas pertenecen una serie de componentes ambientales susceptibles de recibir impactos, entendidos como los elementos, cualidades y procesos del entorno que pueden ser afectados por el proyecto, es decir, por las acciones impactantes consecuencia del mismo.

Estos componentes son: el aire, el suelo; el agua, la flora, la fauna, el paisaje, usos del territorio, cultural, infraestructura, economía y población.

---

<sup>5</sup> Guía metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Conesa Fdez-Vitora, Vicente. De. Mundi-Prensa. Madrid 1993.

## Impactos ambientales identificados

Tabla 1. Impactos a componentes ambientales identificados

Impacto ambiental identificado	Acción del proyecto que causa el impacto	Factor ambiental afectado
- Cambio en el uso del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción del dique – inundación en el área del embalse; línea de conducción, casa de máquina y línea de transmisión.</li> </ul>	Suelo y agua Población
- Procesos erosivos y transporte de sedimentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimientos de tierra, limpieza de áreas a utilizar.</li> </ul>	Suelo y agua serán afectados por sólidos, no habrá contaminación química.
- Modificación en la biota acuática	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundación del embalse – cambio en el régimen hídrico del río</li> </ul>	Fauna acuática
- Contaminación atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosión eólica del material suelto fino excavado</li> </ul>	Aire
- Generación de empleos directos e indirectos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de obras hidráulicas</li> <li>• Funcionamiento de turbo – generador.</li> </ul>	Profesionales nacionales y población local
- Mayor oferta de energía eléctrica y reducción de la tarifa horaria.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funcionamiento de la turbina</li> </ul>	Población local

### 7.1.4. Evaluación de impactos ambientales generados durante el proyecto

En este capítulo se hará una evaluación de los impactos ambientales que potencialmente se generarán durante todo el tiempo de vida útil del proyecto.

#### 7.1.4.1. Cambio en el uso del suelo

- **Descripción del impacto:**

El área propuesta para la construcción de las principales obras hidráulicas del Proyecto Micro Central Hidroeléctrica Waspanona actualmente se encuentra parcialmente utilizada como asentamiento poblacional (en la margen derecha del sitio propuesto para embalse), así como otras obras de uso comunitario (tal como una escuela). El área restante es ocupado por vegetación secundaria y potrero.

### **7.1.5. Procesos erosivos y transporte de sedimentos**

- **Descripción del impacto:**

La excavación para la cimentación de las obras hidráulicas traerá como consecuencia la presencia de acumulaciones de suelo suelto en el área donde se desarrollará el proyecto. Estas acumulaciones de tierra suelta son fácilmente erosionables y estarán expuestas a la acción del viento y a la acción de las aguas de escorrentía que de no tomarse las medidas del caso, arrastrarán una cantidad considerable de ese material suelto y lo trasladarán a los cauces de las corrientes de agua existentes en las cercanías.

Esto afectará el funcionamiento del embalse y del proyecto en general, por lo que será necesario desarrollar medidas para evitar y/o reducir este impacto ambiental.

### **7.1.6. Contaminación atmosférica**

- **Descripción:**

La acción del viento sobre las acumulaciones de suelo suelto provocará la suspensión de partículas en forma de polvo que afectará la calidad del aire durante la fase de construcción del proyecto.

### **7.1.7. Desplazamiento de la población**

En las evaluaciones realizadas dentro del área del proyecto se ha determinado que uno de los principales impactos se refiere a la presencia de 4 familias asentadas en la margen derecha del sitio propuesto para el embalse.

### **7.1.8. Afectación a la biota acuática**

Al momento actual la biota acuática se encuentra seriamente reducida debido al deterioro de la cuenca del río Waspanona y a la contaminación de las aguas del río. Por otro lado, esta calidad biótica se refiere a un régimen hídrico que será modificado con la construcción del embalse.

Se estima que las acciones destinadas a la protección del embalse creará condiciones favorables para la recuperación de la calidad del agua y, consecuentemente, de la fauna acuática. Sin embargo, la presencia de barreras naturales (saltos de agua) limita la migración de los peces en el curso de

agua. Esto será magnificado debido a la construcción del dique – presa para el aprovechamiento del agua y la generación de energía eléctrica.

### **7.1.9. Generación de empleos**

- **Descripción del impacto:**

El proyecto se desarrollará en una zona que al igual que la mayor parte del país, presenta altos niveles de desempleo. Durante la construcción, se contratará personal para asistente o ayudantes de campo que no requieren ninguna preparación específica.

### **7.1.10. Medidas Ambientales**

#### **7.1.10.1. Medidas de Prevención, Mitigación y Control de los Impactos Ambientales Identificados.**

La evaluación de impacto ambiental contenida en este estudio se ha realizado con el objetivo de predecir y estimar las consecuencias ambientales que provocará la ejecución del “**Proyecto MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA WASPANONA**”.

La acción del hombre sobre su entorno provoca, en la mayoría de los casos, impactos que por su naturaleza no es posible erradicar completamente, sin embargo siempre se deberá realizar los mayores esfuerzos para reducir sus efectos negativos.

En este capítulo se propone la identificación de medidas ambientales que permitan prevenir acciones que produzcan efectos negativos sobre el entorno. Cuando esto no sea posible, entonces se propondrán medidas que controlen y/o reduzcan los impactos.

Se consideran todos los impactos identificados, no obstante se hace un mayor énfasis en aquellos que, de acuerdo a la metodología empleada, se destacan por su grado de importancia para orientar los mayores recursos hacia aquellos factores que por su vulnerabilidad y características del proyecto presentan un mayor potencial de afectación.

### **7.1.10.2. Clasificación de las medidas ambientales**

Las medidas ambientales se clasifican, de acuerdo a los factores impactados, de la siguiente manera:

- a) Socioeconómicas
- b) Protección de la calidad del suelo
- c) Protección de la calidad del agua
- d) Protección de la calidad del aire
- e) Gestión ambiental

### **7.1.10.3. Descripción de las medidas**

Cada una de las medidas ambientales propuestas en el presente capítulo cuenta con una descripción detallada de manera que se facilite el proceso de ejecución durante el desarrollo de las actividades del proyecto.

### **7.1.11. Contratación de personal local**

**Medida: Potenciar la contratación de personal local y mejorar la situación laboral y los ingresos de los pobladores de las áreas vecinas**

Esta es una medida destinada a potenciar la participación de la comunidad local en el proyecto de manera que éste reciba beneficios directos por el desarrollo del proyecto en el área vecina a su comunidad. Esta medida será aplicada durante todo el período de vida útil del proyecto y está dirigida al impacto positivo identificado como generación de empleos y contribuirá a mejorar un poco la economía local.

Esta medida se clasifica dentro del subsistema ambiental socioeconómico, tiene categoría de regulación, carácter de control, alcance local y el responsable de su aplicación será el dueño o representante legal del Proyecto.

**7.1.12. Reasentamiento de las cuatro familias desplazadas****Medida: Reducir el impacto causado por la construcción del embalse**

Esta medida está destinada a subsanar el impacto causado por la construcción del embalse y al mejoramiento del nivel de vida de las familias desplazadas.

Para alcanzar este objetivo se deben considerar las alternativas siguientes:

1. Comprar la propiedad total o de manera parcial (si no está afectada de manera completa)
2. Comprar terrenos adecuados para uso residencial y realizar permutas con los dueños afectados
3. Indemnizar por las pérdidas de vegetación o cultivos (inclusive considerar el lucro cesante)
4. Facilitar los traslados de materiales y enseres domésticos de las cuatro familias afectadas

Esta medida será aplicada durante la fase previa al inicio de las construcciones del proyecto.

Esta medida se clasifica dentro del subsistema ambiental socioeconómico, tiene categoría de regulación, carácter de control, alcance local y el responsable de su aplicación será el dueño o representante legal del Proyecto.

**7.1.13. Manejo de suelos y vegetación****Medida: Reducir al mínimo la sedimentación del embalse y las pérdidas de agua por evapotranspiración.**

El objetivo de esta medida es mantener al máximo posible el nivel de productividad del embalse, reducir al mínimo la eliminación de vegetación ya que ésta cumple con la misión de evitar la erosión de los suelos y permitir la infiltración de las aguas, es decir la recarga del acuífero.

Esta medida será aplicada durante todo el período de vida útil del proyecto y está dirigida a la reducción de los procesos erosivos y de transporte de sedimentos ya que estos factores aumentan la proliferación de la flora acuática responsable de la pérdida de agua por evapotranspiración.

Esta medida se clasifica dentro del subsistema físico, tiene categoría de regulación, carácter de prevención y mitigación, alcance local y el responsable de su aplicación será el dueño, el representante legal del proyecto.

#### **7.1.14. Protección a la salud humana en el área de proyecto**

**Medida: Proporcionar accesorios de seguridad a los empleados del proyecto.**

El objetivo de esta medida es evitar afectaciones a la salud ocupacional de los obreros que laborarán en el proyecto y consiste en proporcionar a los empleados guantes, cascos y otros accesorios necesarios (anteojos plásticos, entre otros).

Esta medida será aplicada durante todo el período de vida útil del proyecto y está dirigida a la reducción de riesgos laborales. Esta medida se clasifica como de seguridad ocupacional, tiene categoría de protección y conservación, alcance local y el responsable de su aplicación serán los ejecutores del proyecto.

### **7.2. Programa De Gestión Ambiental**

Como consecuencia de la ejecución del “**Proyecto MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA WASPANONA**” en el municipio de Bonanza, RAAN, se pueden esperar una serie de efectos positivos y negativos sobre el medio ambiente. En estos casos, la legislación ambiental vigente establece la obligatoriedad a los responsables del proyecto de promover y desarrollar tareas que contribuyan a la eliminación, reducción, mitigación o corrección de estos aspectos adversos al del proyecto.

En este capítulo se expone el Programa de Gestión Ambiental, el cual constituye la herramienta que servirá de guía para que los dueños y/o ejecutores del proyecto desarrollen sistemáticamente las acciones preventivas y correctivas; a la vez permitirán a las instituciones de gobierno respectivas (SERENA – RAAN) controlar la implementación en tiempo y forma de las medidas ambientales propuestas en este informe.

Para el mejor cumplimiento de este plan, el representante legal del proyecto asumirá la responsabilidad por la ejecución y control del mismo y responderá ante las autoridades competentes.

#### **7.2.1. Control del área afectada por obras civiles**

Es de suma importancia que las áreas destinadas en el proyecto para la conservación de suelos y vegetación se respeten.

Lo anterior implica que la gerencia del proyecto deberá realizar un control estricto sobre los ejecutores o constructores del proyecto de manera que se asegure el cumplimiento de esta medida, que durará desde el inicio de las labores hasta que se haya terminado el Proyecto.

#### **7.2.2. Seguridad de los empleados**

A todos los operarios de equipos pesados se les facilitará accesorios (tales como orejeras, casco y otros) que reduzcan los riesgos laborales asociados a ruidos, golpes y otros agentes nocivos.

Es importante que la dirección del proyecto oriente a sus empleados en cuanto a la importancia que este proyecto posee, de las actividades a desarrollarse, conocer en detalle sobre los alcances de este plan de gestión ambiental.

Será obligación de los operarios y empleados en general localizados dentro del área de construcción, portar los accesorios de protección física y será el jefe de campo quien se responsabilizará por el cumplimiento de esta medida, la cual deberá ser cumplida desde el inicio hasta el final de la construcción de obras civiles.

### **7.2.3. Manejo de residuos sólidos**

Estos residuos tendrán dos orígenes y características bien diferentes:

- Alimentación del personal que labora en el proyecto: en este caso los residuos tienen carácter orgánico y poco volumen. Aunque es posible también encontrar algunos plásticos y latas.

El manejo de este tipo de desecho será mediante la colocación de éstos en recipientes plásticos colocados adecuadamente dentro en los sitios con mayor presencia de personal laborando, posteriormente los residuos depositados en estos recipientes serán mezclados con la capa vegetal removida.

- Material inorgánico procedente de los materiales de construcción: representados por fragmentos de material sólido como bolsas de muestras, cajas de cartón o baldes plásticos.

Otro posible origen de residuos sólidos inorgánicos serán los envases de los productos alimenticios, éstos podrían ser plásticos principalmente.

En este caso se recomienda que los fragmentos sólidos todos (papel, plásticos o vidrios) sean recogidos y enviados a los rellenos sanitarios existentes en el área de proyecto.

El responsable de mantener la limpieza del lugar será quien dirija las labores de construcción.

### **7.2.4. Manejo de la cuenca y del embalse**

Esta es una de las principales tareas a desarrollar por la Gerencia del Proyecto. El manejo adecuado de la cuenca aumentará la vida útil del embalse, al reducir la proliferación de flora acuática y crear condiciones favorables para la protección de la cuenca estableciendo y desarrollando un programa de reforestación y de educación ambiental a la población circundante al área del proyecto.

**Conclusiones**

El proyecto es factible y tendrá muchos impactos positivos porque al construirlo generará empleos, al entrar en funcionamiento reforzará el sistema energético de la zona, al tener mayor capacidad energética la industria puede surgir con mayor facilidad trayendo un buen impacto económico y el proyecto mejorará ambientalmente la zona de la cuenca porque actualmente se observa despale el proyecto frenará el despale y reforestará los sitios expuestos a la erosión y al represar el río la biótica del agua con el tiempo tendrá una mejora.

**Bibliografía**

V. Giles R. Mecánica de los Fluidos. Tercera edición. McGraw-Hill.

Sotelo. Fundamentos de Hidráulica General. Primer Volumen. Limusa.

Monsalve Sáenz G. Hidrología en la Ingeniería. Segunda Edición. Alfaomega.

Fattorelli S. Diseño Hidrológico. Inacra

**Documentos**

Estudio de Factibilidad Proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica Las Vallas

Estudio de Factibilidad Proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica Puente Yaoska

Estudio de Factibilidad Proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica Las Brisas

Estudio de Factibilidad Proyecto Pequeñas Centrales Hidroeléctricas El Pájaro

Estudio de Factibilidad Proyecto Pequeñas Centrales Hidroeléctricas Waslala

# Anexos

**Glosario de Términos**

**Central:** Cada una de las diversas instalaciones donde se produce, por diferentes medios, energía eléctrica. Central nuclear, térmica, hidroeléctrica.

**Embalse:** acumulación de agua producida por una construcción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce.

**Hidroeléctrica:** Perteneciente o relativo a la hidroelectricidad.

**Hidroelectricidad:** Energía eléctrica obtenida por fuerza hidráulica.

**INETER:** Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.

**Kilowatt:** Unidad de potencia equivalente a 1000 watt. (KW).

**OLADE:** Organización Latinoamericana de Energía