



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



CONSTANCIA DE EVALUACION DE ORIGINALIDAD
ID. N° 109042824

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis de similitud con el software de verificación de Turnitin al documento de **INFORME FINAL DE TESIS** cuyo título es:

Análisis hidrológico multivarial aplicando el método de los hidrogramas con Hec Hms para el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II Humay – Pisco


presentado por:

MARIANA FERNANDA PALOMINO PEREYRA

Bachiller del nivel de PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Civil. El Informe de Originalidad reporta **6% Índice de Similitud**, porcentaje que se encuentra dentro del margen permitido, por tanto, el calificativo es **APROBADO**, según el Reglamento para la evaluación de la Originalidad de los documentos de investigación.

Se adjunta al presente, el Informe de Originalidad Turnitin -iThenticate- con el reporte de originalidad.

Ica, 22 de mayo de 2024

Universidad Nacional "San Luis Gonzaga"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dra. Edith Isabel Guerra Landa
DIRECTORA

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA",
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION

Facultad de Ingeniería Civil



“Análisis hidrológico multivarial aplicando el método de los hidrogramas con *Hec Hms* para el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II –Humay – Pisco”.

Línea de investigación:

Recursos hídricos, riesgo de desastres y cambio climático

INFORME FINAL DE TESIS

AUTOR:

MARIANA FERNANDA PALOMINO PEREYRA.

Ica, Perú

2020

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado en primer lugar a Dios por la vida que me da día a día, por ayudarme en todo tiempo, por su fidelidad y amor; también dedicado a mis padres y familiares por el empuje y el apoyo que me brindan.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional San Luis Gonzaga De Ica, a la facultad de ingeniería civil, y a todos los docentes que impartieron sus conocimientos de forma profesional en el salón de clases.

A mi asesor Magister Franco Alvarado Freddy, quien me oriento en la elaboración del presente.

INDICE

INDICE DE CONTENIDOS

I.	INTRODUCCION	14
II.	ESTRATEGIA METODOLOGICA	20
2.1	Descripción de la metodología de investigación.....	20
2.1.1	Tipos, nivel y diseño de investigación	20
2.1.2	Contexto de la investigación.....	20
2.1.3	Universo y muestra materia de investigación	20
2.1.4	Técnicas e instrumentos de investigación	21
2.2	Ubicación y descripción del área de estudio	23
2.2.1	Ubicación política.....	23
2.2.2	Ubicación geográfica.....	23
2.2.3	Ubicación hidrográfica	25
2.2.4	Ubicación administrativa	25
2.2.5	Estaciones pluviométricas	26
2.3	Descripción del área de estudio	27
2.4	Procedimiento realizado en la investigación.....	28
2.4.1	Digitalización del área de estudio	28
2.4.1.1	Descarga de DEMs de 12.5 X 12.5 M	28
2.4.1.2	Aplicación de la herramienta FILL del ArcGIS	29
2.4.1.3	Aplicación del Flow Direction y Flow Accumulation	30
2.4.1.4	Delimitación del área de estudio con Watershed	31
2.4.1.5	Red de drenaje del área de estudio.....	31
2.4.2	Parámetros geo-morfométricos de la cuenca	32
2.4.2.1	Parámetros geométricos:.....	32
2.4.2.2	Parámetros de forma:.....	33
2.4.2.3	Parámetros de relieve	34
2.4.2.4	Parámetro de Red Hidrográfica	40
2.4.3.	Geología del área de estudio.....	45

2.4.4	Mapa de vegetación del área de estudio	48
2.4.5	Numero de curva del área de estudio	49
2.4.6	Análisis y tratamiento de información pluviométrica	52
2.4.6.1	Información pluviométrica	52
2.4.6.2	Información disponible.....	54
2.4.6.3	Análisis de consistencia de una muestra hidrológica	56
2.4.6.3.1	Análisis de saltos mediante el método grafico:	58
2.4.6.3.2	Análisis de tendencia en la media	63
2.4.6.4	Prueba de datos dudosos (Water Resources Council)	65
2.4.6.5	Periodo de retorno y probabilidad de ocurrencia	68
2.4.6.6	Factor de ajuste de las precipitaciones	69
2.4.6.7	Análisis estadístico y precipitaciones proyectadas.....	71
2.4.6.8	Tormenta de diseño	76
2.4.6.8.1	Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia	76
2.4.6.8.2	Hietograma de Diseño	81
2.5	Alternativas propuestas	83
2.5.1	Criterios Generales	83
2.5.2	Presentación de alternativas propuestas.....	83
2.5.2.1	Gaviones.....	83
2.5.2.2	Espigones	84
2.5.2.3	Enrocados.....	85
III.	RESULTADOS.....	87
3.1	Aplicación del <i>HEC HMS</i> con los datos obtenidos.....	87
3.2	Hidrogramas de crecida obtenidos en el <i>HEC HMS</i> para condiciones normales y húmedas	91
3.2.1	Condiciones normales	91
3.2.3	Condiciones húmedas.....	92
IV.	DISCUSIÓN	94
V.	CONCLUSIONES	95

VI.	RECOMENDACIONES	96
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	97

INDICE DE TABLAS

TABLA.1.	Operacionalización de las variables.....	17
TABLA.2.	Coordenadas del punto emisor del área de estudio	24
TABLA.3.	Delimitación del área de estudio.....	25
TABLA.4.	Coordenadas de ubicación geográfica.....	26
TABLA.5.	Parámetros geométricos del área de estudio	33
TABLA.6.	Parámetros geométricos del área de estudio	33
TABLA.7.	Factor de forma	33
TABLA.8.	Coefficiente de compacidad.....	34
TABLA.9.	Parámetros de forma del área de estudio	34
TABLA.10.	Pendiente Ponderada Mediante El Promedio Ponderado	35
TABLA.11.	Altitud ponderada del área de estudio.....	37
TABLA.12.	Área acumulada versus elevación acumulada.....	38
TABLA.13.	Marca de clase Vs Frecuencia	41
TABLA.14.	Longitudes de los niveles del orden de drenaje.....	42
TABLA.15.	Tiempo de concentración en Horas y minutos	43
TABLA.16.	Parámetros geomorfológicos obtenidos del área de estudio.....	44
TABLA.17.	Asociación de grandes grupos de suelos.....	46
TABLA.18.	Capacidad de uso de suelos	46
TABLA.19.	Calculo de curva número ponderada con los datos obtenidos.....	51
TABLA.20.	datos para la obtención de CN(AMC III) compuesto.....	52
TABLA.21.	Descripción de estaciones.....	53
TABLA.22.	Periodo de evaluación y cuantificación de saltos.....	58
TABLA.23.	Datos obtenidos de la consistencia en la media	61
TABLA.24.	Datos obtenidos de la consistencia en la varianza.....	62

TABLA.25.	Datos obtenidos de la tendencia en la media	64
TABLA.26.	Valores máximos recomendados de riesgo admisible	69
TABLA.27.	Factor de ajuste según el intervalo de observación	70
TABLA.28.	Datos de precipitación Max 24h ajustada a 1 intervalo de observación	70
TABLA.29.	Datos del modelo de Distribución Normal.....	71
TABLA.30.	Datos del modelo de Distribución Log Normal 2 parámetros	72
TABLA.31.	Datos del modelo de Distribución Log Normal 3 parámetros	72
TABLA.32.	Datos del modelo de Distribución Gumbel.....	73
TABLA.33.	Datos del modelo de Distribución Gamma	74
TABLA.34.	Precipitaciones maximas proyectadas para diferentes Tr.....	76
TABLA.35.	Precipitaciones máximas de duración (mm)	77
TABLA.36.	Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno.....	77
TABLA.37.	Intensidades según duración	78
TABLA.38.	Intensidades proyectadas según periodo de retorno	79
TABLA.39.	Tabla de intensidades transpuestas para Tr (mm/hr).....	79
TABLA.40.	Valores de los factores de la zona de estudio y ecuación I-D-F.....	81
TABLA.41.	Resultados de precipitación tr 140años – estación letrayoc	81
TABLA.42.	Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno(mm).....	82
TABLA.43.	Características de gaviones.....	83
TABLA.44.	caudales maximos para un tr=140 años	94

INDICE DE FIGURAS

Fig.1.	Mapa de ubicación política del área de estudio	23
Fig.2.	Puntos críticos [12].....	24
Fig.3.	Ubicación geográfica (Google Earth).....	24
Fig.4.	Mapa de ubicación hidrográfica	25
Fig.5.	Autoridad administrativa del agua.....	26
Fig.6.	Estación pluviométrica Letrayoc-ANA	26
Fig.7.	Mapa de ubicación hidrométrica	27

Fig.8.	Sector San Ignacio II	27
Fig.9.	Puntos críticos del rio Pisco [15]	28
Fig.10.	DEMS de descargas del VERTEX ALASKA[23].....	29
Fig.11.	Aplicación de la herramienta FILL en Arc Gis.....	29
Fig.12.	Aplicación de la herramienta Flow Direction en Arc GIS	30
Fig.13.	Aplicación de la herramienta Flow Accumulation en Arc GIS	30
Fig.14.	Aplicación de la herramienta Watershed para delimitación del área de estudio	31
Fig.15.	Aplicación de la herramienta Arcscene para delimitación del área de estudio.....	31
Fig.16.	Red de drenaje en Google Earth	32
Fig.17.	Pendiente media calculado en el programa ArcGIS.....	35
Fig.18.	Asimetría de la cuenca.....	36
Fig.19.	Altitud media por el promedio aritmético por el método directo mediante el ArcGIS	37
Fig.20.	Curva hipsométrica-ciclo de erosión de una cuenca [19].....	38
Fig.21.	Curva hipsométrica.....	39
Fig.22.	Clase de pendiente [24]	41
Fig.23.	Orden de drenaje	42
Fig.24.	Mapa de suelos de la región Ica-sig.....	47
Fig.25.	Asociación de suelos-SIG.....	47
Fig.26.	Mapa de cobertura vegetal del área de estudio según INGEMENT.....	48
Fig.27.	Descripción del mapa de cobertura vegetal según INGEMENT.....	48
Fig.28.	Grupo hidrológico del uso de suelo	49
Fig.29.	Valores número de curva para condiciones normales (AMC II) según Vente Chow..	50
Fig.30.	Mapa - curva número para condiciones húmedas - SNIRH ANA	51
Fig.31.	Curva Numero promedio.....	52
Fig.32.	Estaciones aledañas al área de estudio.....	53
Fig.33.	Polígono de Thiessen.....	54
Fig.34.	Información historica de la estación Letrayoc según ANDREA	55
Fig.35.	Completacion de datos de la estación Letrayoc	56
Fig.36.	Flujograma del proceso de análisis de datos	57

Fig.37.	Hidrograma-análisis de saltos.....	58
Fig.38.	Valores de T - student	60
Fig.39.	Valores de la distribución de Fisher-F.....	62
Fig.40.	Datos para el análisis de tendencia en la media de la estación Letrayoc.....	64
Fig.41.	Muestra de los datos de precipitación máxima 24h y Log(P24hr).....	65
Fig.42.	Valores de Kn para la prueba de datos dudosos.....	66
Fig.43.	Parámetros estadísticos obtenidos de la muestra	66
Fig.44.	Hidrograma de precipitación máxima de 24horas en la estación Letrayoc - Outlier...67	
Fig.45.	Datos de precipitación Max 24H y Log(p24h) corregido	68
Fig.46.	Hidrograma de forma descendente con las precipitaciones máximas 24h corregidas .71	
Fig.47.	Valores críticos del estadístico Smirnov Kolmogorov.....	75
Fig.48.	Prueba de bondad de ajuste	75
Fig.49.	curva I-D-F.....	80
Fig.50.	Hietograma de precipitación Tr 140 años.....	82
Fig.51.	Gaviones	84
Fig.52.	Espigones	85
Fig.53.	Vista en planta de espigones.....	85
Fig.54.	Enrocado	86
Fig.55.	Creamos un nuevo proyecto con el nombre de área de estudio Pisco	87
Fig.56.	Importamos el área de la cuenca con el punto emisor en San Ignacio II.....	87
Fig.57.	Colocamos una subcuenca que le llamamos estación Letrayoc y un punto de aforo en el punto emisor San Ignacio II	88
Fig.58.	Agregamos el área de estudio en km2	88
Fig.59.	Se introdujo como dato el lag time que es el 60% del tempo de concentración	89
Fig.60.	El método de pérdida utilizado es el SCS, en la imagen se aprecia el numero curva ingresado.....	89
Fig.61.	Para la transformación lluvia -escorrentía utilizamos el método de los hidrogramas unitarios SCS. en la imagen se observa cuando se crea la serie de datos para una precipitación máxima para Tr 140 años.....	90
Fig.62.	Se ingresaron los datos de precipitación y se muestra su hietograma	90

Fig.63.	Podemos apreciar el caudal máximo obtenido de 0.3 m ³ /seg en condiciones normales	91
Fig.64.	Se aprecia la gráfica del comportamiento de la tormenta	91
Fig.65.	Hidrograma en condiciones normales.....	92
Fig.66.	Fórmula para la obtención del CN en condiciones húmedas	92
Fig.67.	Caudal máximo en condiciones húmedas	92
Fig.68.	Hidrograma en condiciones húmedas	93

INDICE DE ANEXOS

Fig.A-1.	Entramos a la página de EL ESTADO -MIDRAGRI-ANA y seleccionamos sistema nacional de información.....	A-2
Fig.A-2.	Nos aparece la siguiente página, y seleccionamos análisis de datos y recursos estadísticos del agua-ANDREA.....	A-2
Fig.A-3.	Se registra una cuenta y abrimos la plataforma	A-3
Fig.A-4.	En la siguiente página seleccionamos análisis de datos.....	A-3
Fig.A-5.	Nos aparece la siguiente ventana donde se aprecia la página principal del módulo de análisis de datos, seleccionamos DATOS SNIRH.....	A-3
Fig.A-6.	Buscamos la cuenca del rio pisco y seleccionamos las estaciones que se encuentren dentro del área de estudio.....	A-4
Fig.A-7.	Seleccionamos y agregamos los datos de precipitación máxima 24h de las estaciones: Cusicancha, Letrayoc, H. Bernales y Huancano, ya que se encuentran dentro del área de estudio.....	A-4
Fig.A-8.	En la siguiente figura nos muestra las series seleccionadas, los periodos de trabajo y los datos Pmax 24h. de cada estación	A-4
Fig.A-9.	También podemos apreciar los gráficos de análisis de datos precipitación vs periodos	A-5
Fig.A-10.	visualización del mapa de ubicación de las estaciones.....	A-5
Fig.A-11.	En la tabla porcentaje de datos vacíos observamos datos completos e incompletos, guardamos el avance y nos vamos a la pestaña de regionalización	A-5
Fig.A-12.	Vector de regionalización.....	A-6
Fig.A-13.	Anulamos las estaciones que no cumplen los requisitos mínimos.....	A-6

- Fig.A-14. Estudio realizado por el SENAHMI regionalizando las estaciones. Donde las estaciones Letrayoc, Huancano, Tambo y Lautá pertenecen a la regionalización 6CA-7
- Fig.A-15. Con un Promedio de Desviación Estándar de Desvíos igual a 0.355
- Fig.A-16. Luego se realizó la completación de datos y se exporta los resultadosA-7
- Fig.A-17. Se obtiene los resultados para las estaciones antes mencionadas, en este caso nos interesamos en los resultados para la estación de Letrayoc.....A-8

RESUMEN

En la siguiente tesis tenemos como objetivo general evaluar la influencia del análisis hidrológico multivariado aplicando el método de los hidrogramas con HEC HMS para el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay- Pisco.

Para ello se procedió a digitalizar el área de estudio, se descargó las imágenes DEMs de 12.5 x12.5m del satélite Alos Palsar, para su procesamiento en el software del ArcGIS, donde se obtuvo sus parámetros geomorfológicos que son las características de la cuenca. El siguiente paso que se realizó fue el procesamiento de datos meteorológicos obtenidos de SENAHMI de un periodo de tiempo del 2000-2019 y finalmente se ingresaron los valores obtenidos al *Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC HMS)* para su respectivo análisis multivariado con el método de los hidrogramas. Como resultado para un periodo de retorno de 140 años, se obtuvo el hidrograma unitario, el caudal de diseño de 11.1m³/seg. Con respecto a las obras hidráulicas contra inundación se explicaron tres alternativas: Gaviones, Espigones y Enrocados.

PALABRAS CLAVES:

Análisis hidrológico, *HEC HMS*, ArcGIS, Geomorfología de la cuenca.

ABSTRACT

In the following thesis our general objective is to evaluate the influence of multivariate hydrological analysis applying the hydrograph method with HEC HMS for the design of hydraulic works against flooding in the San Ignacio II – Humay- Pisco.

To do this, the study area was digitized, the 12.5 x12.5m DEM images from the Alos Palsar satellite were downloaded for processing in the ArcGIS software, where its geomorphological parameters, which are the characteristics of the basin, were obtained. The next step that was carried out was the processing of meteorological data obtained from SENAHMI for a period of time from 2000-2019. And finally, the values obtained were entered into the *Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC HMS)* for their respective multivariate analysis with the hydrograph method. As a result, for a return period of 140 years, the unit hydrograph was obtained, the design flow of 11.1 m³/sec. Regarding hydraulic works against flooding, three alternatives were explained: Gabions, breakwaters and castled.

KEYWORDS:

Hydrological analysis, *HEC HMS*, ArcGIS, Geomorphology of the basin.

I. INTRODUCCION

El análisis hidrológico consiste en evaluar de manera cuantitativa y cualitativa la relación entre pluviometría, fluviometría, precipitación y flujo de agua en cuencas de ríos, para así, determinar los recursos hídricos disponibles en una determinada área. Tiene en consideraciones las aguas superficiales y aguas subterráneas. En la presente tesis, un punto clave y fundamental, es enfocarnos en el análisis de las aguas superficiales que son las que fluyen por los cauces naturales, gracias a ello podemos determinar el comportamiento del agua sobre el área de estudio, obteniendo el caudal máximo para el diseño mediante método de los hidrogramas con *HEC HMS* para el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay – Pisco y prevenir posibles daños ocasionados por los fenómenos naturales.

Según SENAMHI [5], en la actualidad los desastres provocados en épocas de avenidas y por el fenómeno del niño, ya que este es una de las manifestaciones de la variabilidad del clima de nuestro planeta, debido a sus excesivas lluvias causando inundaciones y desbordes, destrucción de infraestructuras y generando un aumento de plagas y enfermedades en los cultivos. Siendo crucial para nuestro país entender y predecir este fenómeno.

Dentro de la Ingeniería civil, el análisis de los recursos hídricos nos ayuda a poder planificar todo tipo de construcción en relación al suministro del agua, como son las obras hidráulicas que desempeñan un papel crucial porque son estructuras imprescindibles para la protección contra inundaciones, asegurar el suministro de agua potable y la generación de energía hidroeléctrica.

En el país, según INDECI [6] los desastres por inundaciones generan destrucciones en diferentes sectores, por ejemplo, en las diferentes obras hidráulicas, daños graves en el suelo de las terrazas de los ríos, todo esto afectando la economía, el medio ambiente, y en casos más desfavorables pérdidas de vidas humanas.

Las expectativas que se tuvieron al realizar la presente tesis, fue de realizar un análisis hidrológico multivariado aplicando el método de los hidrogramas del área de estudio mediante el software *Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC HMS)* y obtener el caudal de diseño para prevenir y evitar daños futuros. El método de los hidrogramas en *HEC HMS* me ayuda a transformar la precipitación efectiva en escorrentía directa. Como no se tiene un hidrograma real de la cuenca media y parte de la cuenca baja del Rio Pisco, por sencillez se toma el hidrograma unitario sintético propuesto por el Soil Conservation Service (SCS por sus siglas en inglés) Quienes desarrollaron empíricamente un hidrograma unitario adimensional como producto de la investigación y de del trabajo de numerosos investigadores (Mockus 1949, Sherman 1942, Andrews 1954, y Ogrosky 1956). [7] Este modelo hidrológico fue establecido con base en el análisis de una serie de hidrogramas unitarios naturales pertenecientes a cuencas

de un extenso rango de tamaños y ubicadas en diferentes partes de la geografía de los Estados Unidos.

Siendo para el sector de San Ignacio II su principal fuente socio-económico la agricultura, esta actividad es el eje principal que abre camino al desarrollo de otras labores como el transporte, comercio y consumo, se debe prevenir los daños que pueden ser ocasionados por los diferentes fenómenos.

Hoy en día, a medida que la tecnología y la ciencia va en aumento, contamos con una gran variedad de softwares que son muy utilizados y de ayuda para diferentes estudios según se requiera. En esta tesis aplicaremos el software (*HEC HMS*), fue desarrollado por el centro de ingenieros de las fuerzas armadas de los estados unidos, se escogió este software ya que es un programa de uso gratuito y por su variedad de opciones para calcular los diferentes componentes del ciclo hidrológico. Según el Artículo De Universidad de Colombia [10] Inicialmente el *HEC HMS* fue desarrollado para simular los procesos de lluvia-escorrentía en cuencas dendríticas, pero luego fue mejorado para resolver una amplia gama de problemas incluyendo: suministro de agua de cuencas grandes, hidrogramas de inundaciones y escorrentía de pequeñas cuencas urbanas o naturales

Las obras hidráulicas pueden ser obras naturales, Como en el caso de lagos, ríos, quebradas o vasos naturales; u obras proyectadas por el hombre como en el caso de bocatomas, presas, canales, etc. Según el Mag. Freddy Franco en la actualización de su libro ‘‘Diseño de Obras Hidráulicas’’ [8] las clasifica de la siguiente manera: - obras hidráulicas de captación, son estructuras destinadas a captar o extraer una determinada cantidad de agua de un flujo natural o artificial, como por ejemplo la bocatoma La Achirana en Ica. - Obras hidráulicas de regulación y almacenamiento, son las que permiten el control del flujo del agua, como de los contornos del terreno en el cual fluye, también el aprovechamiento mediante embalses y reservorios, como tenemos en Cajamarca la Represa de Gallito Ciego. - Obras hidráulicas de conducción, son las que permiten trasladar el recurso hídrico al lugar de su distribución, según el tipo de captación y uso, como por ejemplo el Canal de Choclococha. - Obras hidráulicas de distribución, son obras que permiten la distribución de las aguas captadas hasta el lugar del consumidor como lo hacen las redes de distribución de tuberías. - Obras hidráulicas de recolección y emisión, Estas obras permiten la evacuación de desechos líquidos, se enmarcan en las obras de alcantarillado y drenajes principalmente, podemos observar este tipo de obras en los alcantarillados pluviales. - Obras hidráulicas para aspectos de calidad, estas obras garantizan la calidad del flujo captado, casi siempre en este rubro hablamos de agua para consumo humano, aunque también se puede establecer criterios de calidad para el reúso de agua residual de riego, como son las plantas potabilizadoras de agua. – Obras hidráulicas para usuarios, son obras hidráulicas especiales, son

identificadas por la finalidad a que estén destinadas, tenemos las obras para navegación para recreación y las hidroeléctricas, como la central hidroeléctrica del Mantaro.

Las obras hidráulicas contra inundación son todas las estructuras hidráulicas cuya finalidad sea encauzar, corregir o controlar el curso natural del agua, evitando daños consecuentes como por ejemplo las más comunes como las inundaciones, ya que el río es un organismo vivo y natural, es indispensable que cualquier tipo de intervención tenga bajo impacto ambiental y se integre rápida y eficientemente, con el medio circundante [8].

Según Maccaferri, en su libro defensas ribereñas y obras transversales [9] clasifica las obras hidráulicas contra inundación en dos tipos: Las defensas ribereñas y las obras transversales.

- Las defensas ribereñas pueden ser obras longitudinales y obras deflectoras. La primera en mención, son generalmente usadas para delimitar el cauce y aprovechar los terrenos en los márgenes para proteger las orillas contra inundaciones o erosiones, para recuperar terrenos ribereños y en obras de toma. Dependiendo su finalidad Pueden ser de estructura gruesa, tiene la función de proteger las orillas del río contra la erosión, también le da estabilidad al talud natural ya que actúa como contención y estructura delgada, la que se utiliza en revestimientos de las orillas naturales o artificiales, ya estable, protegiéndola de la erosión. Las obras longitudinales deben interferir lo menos posible con el medio ambiente e integrarse fácilmente al mismo como por ejemplo tenemos a los gaviones caja, gaviones saco, colchones Reno y geomantas.

Las obras deflectoras tienen la función de dirigir o centralizar el flujo de la corriente para así poder recuperar las márgenes de la erosión. Denominadas espigones. Las características de estas obras son la facilidad y rapidez de construcción, la flexibilidad ya que se puede realizar la construcción en presencia de agua. Las estructuras en gaviones son una excelente solución para las construcciones de espigones.

- La segunda clasificación de las obras hidráulicas contra inundación son las obras transversales, Estas obras tiene la finalidad de fijar o modificar la pendiente del río; controlar el transporte de sólidos; almacenar agua o laminar las crecidas; construir Obras de toma. Estas obras deben de ser resistentes y permitir la utilización de materiales que puedan ser fácilmente transportados a pequeñas distancias. Se recurren a obras como diques y soleras; gaviones ya sean de caja o saco; colchones Reno.

- **DIQUES.** - cuando sea necesario almacenar agua, controlar las crecidas, los diques en gaviones pueden ser fácilmente impermeabilizados y acoplados a estructuras de hormigón para la instalación de compuertas permitiendo así el control de flujo del agua y el nivel de la represa.

El análisis hidrológico juega un rol importante en las obras contra inundación, principalmente en los aspectos que tienen relación con su dimensionamiento y control del agua, así como estudios y gestión del medio ambiente.

Para proyectar cualquier obra hidráulica es necesario el conocimiento de la magnitud y frecuencia de los caudales que esa obra deberá conducir, contener, almacenar, etc.; El máximo caudal que cualquiera de estas estructuras puede soportar con seguridad es denominada caudal del proyecto.

La hidrología proporciona gran variedad de métodos basados en diversos principios, dentro de los cuales se deberá escoger el más adecuado de acuerdo a las circunstancias particulares, a la obra a diseñar y dependiendo sobre todo de la disponibilidad de datos hidrológicos apropiados.

Operacionalización de las variables

TABLA.1. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE	TIPO	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Análisis hidrológico multivariado aplicando el método de los hidrogramas con HEC HMS.	INDEPENDIENTE	Agentes y datos considerados para ingresar al programa HEC HMS.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las características físicas y geomorfológicas del área de estudio 2. El análisis de las precipitaciones. 3. La evaluación del caudal máximo en el sector San Ignacio II 	<ul style="list-style-type: none"> • Programa ARGIS • Hoja de cálculo Excel • Estación meteorológica • Hoja de información de análisis de tormenta.
Diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II –Humay-Pisco	DEPENDIENTE	Caudal de diseño de las obras contra inundación.	1.Caudal máximo de diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Programa hec –hms.

Problema principal

Según el ANA [11], En el sector San Ignacio II presenta como consecuencia a causa de desbordamiento e inundación en el Rio Pisco daños perjudiciales en los pobladores de la localidad de Humay, como por ejemplo pérdidas de sus cultivos: como maíz, algodón; ya que es una zona donde predomina la agricultura. Obtenemos la formulación del problema general mediante la siguiente pregunta: ¿En qué medida el análisis hidrológico multivariado aplicando el método de los hidrogramas con HEC HMS se relaciona con el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay-Pisco?

Problemas específicos

El río Pisco en el sector San Ignacio II no cuenta con adecuadas defensas ribereñas que disminuyan el riesgo de inundación por aumento de caudal en épocas de avenida y minimizar los riesgos de pérdidas económicas en el sector.

La formulación de los problemas específicos se obtiene mediante las siguientes preguntas:

- ¿En qué medida el método de los hidrogramas con HEC HMS se relaciona con el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay-Pisco?
- ¿En qué medida las características físicas y geomorfológicas del área de estudio se relacionan con el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II- Humay-Pisco?
- ¿En qué medida el análisis de precipitaciones se relaciona con el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay-Pisco? Y ¿En qué medida la evaluación del caudal máximo de diseño se relaciona con el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II- Humay- Pisco?

Objetivo general

Evaluar la influencia del análisis hidrológico multivariado aplicando el método de los hidrogramas con HEC HMS en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay- Pisco

Objetivo específico

- Determinar la relación del método de los hidrogramas con HEC HMS en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II– Humay- Pisco.
- Determinar la relación de las características físicas y geomorfológicas del área de estudio en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II– Humay- Pisco.
- Determinar la relación del análisis de precipitaciones con el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II– Humay- Pisco.
- Determinar la relación del caudal máximo con el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II–Humay-Pisco

Hipótesis General

El análisis hidrológico multivariado aplicando el método de los hidrogramas con HEC HMS se relaciona en el diseño de obras contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay- Pisco

Hipótesis Específico

- El método de los hidrogramas con HEC HMS se relaciona en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II– Humay- Pisco.
- Las características físicas y geomorfológicas del área de estudio se relacionan en el diseño de obras contra inundación en el sector San Ignacio II– Humay- Pisco.
- El análisis de precipitaciones se relaciona en las obras contra inundación en el sector San Ignacio II–Humay-Pisco.
- La evaluación del caudal máximo de diseño se relaciona en las obras contra inundación en el sector San Ignacio–Humay-Pisco.

Esta investigación es de suma importancia porque gracias al análisis hidrológico aplicando el programa *HEC HMS* vamos a conocer las precipitaciones máximas proyectadas de diseño del Rio Pisco a lo que estará sometido el sector san Ignacio II, para así poder anticiparnos teniendo los caudales máximos de diseños para las obras contra inundación en el sector San Ignacio II, y lograr prevenir riesgos y evitar daños.

Por ello se realizó la presente investigación con enfoque general cuantitativo de tipo aplicada con un nivel descriptivo correlacional, porque busca relacionar las variables independientes con la dependiente y con un diseño de investigación no experimental longitudinal, ya que el software nos brinda los resultados de precipitaciones para diferentes periodos de retorno.

El criterio para seleccionar el sector de estudio fue debido a que es un sector que se encuentra en los puntos críticos dados por el INDECI [12]. Lo primero que se trabajo fue la digitalización del área de estudio para así obtener los datos geomorfológicos de dicha área; luego se prosigue a obtener la curva número del área de estudio mediante el tipo de suelo hidrológico; después de esto se realizó el análisis de los datos de precipitaciones máximas 24h obtenidos del SENAMHI, realizando el análisis de consistencia y la prueba de datos dudosos (water recouncil resources), para trabajar datos consistentes y ajustarlos mediante la prueba de bondad de ajuste para saber cuál de los métodos probabilísticos utilizados se ajusta mejor, en este caso el que mejor se ajusta es el modelo de log normal 3 parámetros, mediante el método de Dick Peschke se obtuvo las precipitaciones máximas para cada periodo de retorno.

Finalmente, todos estos datos obtenidos anteriormente se ingresaron al software *HEC HMS* para obtener los resultados de caudales máximos. Obteniendo para un periodo de retorno de $T= 140$ años un caudal máximo de $Q=11.1 \text{ m}^3/\text{s}$

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

2.1 Descripción de la metodología de investigación

2.1.1 Tipos, nivel y diseño de investigación

La investigación es de enfoque general cuantitativo debido a que se va a analizar los datos recolectados en SENAMHI, para así calcular las aproximaciones de caudales máximos de diseño.

La investigación es de tipo aplicada y de nivel descriptivo correlacional, porque describe las variables y porque busca el ¿por qué? de los hechos mediante el establecimiento de relaciones entre las variables v_1 con la v_2 , de naturaleza cuantitativa. Siendo la variable independiente: Análisis hidrológico multivariado aplicando el método de los hidrogramas con HEC HMS y la variable dependiente: Diseño de obras contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay-Pisco. El método utilizado es el deductivo (particular-general).

el diseño de la investigación es no experimental-longitudinal ya que gracias al programa HEC HMS podremos analizar las precipitaciones máximas para diferentes periodos de tiempo.

2.1.2 Contexto de la investigación

Delimitación espacial: El área de estudio abarca la parte inferior de la cuenca media y una parte de la cuenca baja del Río Pisco - Sector San Ignacio II.

Delimitación temporal: Depende de los registros históricos a utilizar, los datos históricos obtenidos por el SENAMHI son de 20 años de registro.

Delimitación social: Pobladores que residen en la localidad de Humay.

2.1.3 Universo y muestra materia de investigación

Universo:

El ámbito de interés en el estudio está constituido por un conjunto de elementos con expresiones equivalentes a la que llamamos población o universo de estudio, En [13] considera la población marco o universo finito, al conjunto preciso de unidades del que se extrae la muestra, y universo hipotético o población objetivo, el conjunto poblacional al que se pueden extrapolar los resultados. En esta investigación La población de estudio es finita y accesible ya que de esta misma es posible extraer la muestra.

Población de estudio: La población de estudio es la parte inferior de la cuenca media y una parte de la cuenca baja del Río Pisco.

Muestra:

Una muestra es una parte o subconjunto de unidades representativas de la población o universo

Veamos los dos tipos de muestreo:

Muestreo probabilístico:

Es el muestreo donde todas las unidades de la población tienen una probabilidad conocida de ser incluidas en la muestra, tenemos los siguientes muestreos: Muestreo aleatorio simple – Muestreo sistemático – Muestreo estratificado – Muestreo por conglomerados – Muestreo polietápico. En esta investigación no es el tipo de muestreo.

Muestreo no probabilístico

Las muestras no probabilísticas las seleccionan los investigadores basándose en fundamentos de su propio criterio de selección según los objetivos de la investigación. Este criterio puede estar fundamentado sobre la conveniencia y la facilidad

Muestreo por cuotas: Es un tipo de muestreo muy generalizado en las investigaciones aplicadas por encuesta porque ha demostrado su eficiencia, se utiliza a menudo como si se tratara de un método probabilístico

Muestreo de conveniencia: Es un tipo de muestreo en el que las unidades están disponibles y son fáciles de localizar, tienen un carácter de representatividad de la población que se quiere analizar, pero se hace una selección conveniente de varias unidades con el objetivo de constituir grupos reducidos y controlados en el contexto de diseños de tipo experimental.

Muestreo intencional o razonado: La muestra razonada se realiza sobre la base del conocimiento, elementos y líneas muestrales que el investigador tiene de la población.

Muestreo de bola de nieve: En la muestra de bola de nieve a partir de un núcleo básico de muestra de pocos casos que reúne una serie de características de interés para el estudio, la muestra se edifica progresivamente, a medida que se incorpora un nuevo elemento relacionado con el anterior se construye una red de relaciones de las unidades muestrales que va creciendo, como una bola de nieve

La Muestra de estudio es no probabilística por conveniencia ya que se obtuvo la muestra por criterio fundamentado en la conveniencia al ser fácil de localizar y con representatividad de la población.

Muestra de estudio: Es el Sector san Ignacio II – Humay.

2.1.4 Técnicas e instrumentos de investigación

Las técnicas e instrumentos de investigación son procedimientos o fórmulas que nos permiten establecer procesos para obtener datos del tema de investigación, apoyándose de las diversas herramientas para observar, recopilar, organizar, analizar, examinar y presentar la información ya encontrada. [14]

El uso de las técnicas es común en cualquier investigación científica, porque permite obtener datos necesarios para las respuestas a las interrogantes del tema en estudio, con la información obtenida a través de estas técnicas se pueden organizar todas las etapas de la investigación, Esto permite tener mejor control del volumen de la información obtenida. También ayuda a comprobar la validez de la hipótesis planteada.

Para la elección de la técnica aplicada en la investigación se tuvo como base el problema general y los objetivos planteados. Para ello las técnicas documentales nos ayudan a comprender fenómenos a través de la recopilación de información de diversas fuentes como las tesis elaboradas anteriormente, revistas, libros, entre otros documentos; destacando de manera clara las ideas más relevantes con el fin de obtener la información necesaria y no aglomerarse con información no necesaria. Fue de gran ayuda capturar mediante la vista información en forma directa y sistemática. Por ello, las técnicas utilizadas fueron: Análisis documental y observación estructurada

Los instrumentos utilizados fueron: fichas de recolección de datos, hojas de campo, fichas de SENAMHI, escala de estimación, programa *HEC HMS*, programa Arc gis, y hojas de Excel. La recolección de datos fue la base y fundamento de esta investigación, se seleccionó el tipo de información a buscar según al tema de investigación, se recolecto información resumida de tesis, artículos mencionados en la bibliografía, la cual se analizó y examino para obtener información ordenada y valida, que fue de ayuda para el desenlace de la tesis.

La morfología del are a de estudio se obtuvo mediante el programa Arc GIS, con ayuda de sus herramientas y procesamientos logramos obtener la información morfológica que necesitamos y aplicamos en esta investigación.

La escala de estimación nos ayudó a determinar el número de curva del grupo de suelo hidrológico.

Las fichas de SENAMHI que cuenta con información de precipitaciones máximas 24h, se utilizaron como información base, se analizó y se aplicó el análisis de consistencia de datos y prueba de datos dudosos, luego se introdujo al Excel.

Las hojas de cálculo del Excel fueron utilizadas para el ajuste de las precipitaciones a los métodos probabilísticos que se trabajaron, y calcular las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno.

En el Programa *HEC HMS* se ingresó los datos obtenidos de geomorfología, precipitación, numero curva, se realizó el análisis hidrológico, se procesó y nos dio como salida los resultados de los caudales máximos para el periodo de retorno considerado para defensas ribereñas.

Para el procesamiento de datos, como en los programas del Arc GIS y HEC HMS, una vez ingresado los datos de entrada y procesado se obtuvo los datos de salida, información valiosa a ser analizada.

El método para el procesamiento de datos va depender del avance tecnológico, y de todas las alternativas que se presenten se debe elegir dependiendo de la rapidez la que mejor se ajuste a tu investigación.

Para esta tesis se utilizó para el procesamiento de datos mediante el método electrónico, con la intervención de computadora para el procesamiento y obtención de resultados.

Como fue en el caso de los programas del Arc GIS y HEC HMS, una vez ingresado los datos de entrada y procesado se obtuvo los datos de salida, información valiosa a ser analizada.

2.2 Ubicación y descripción del área de estudio

2.2.1 Ubicación política

El punto emisor pertenece al distrito de Humay y el área de estudio pertenece a los distritos Humay y Huancano, Provincia de Pisco, Departamento de Ica.



Fig.1. Mapa de ubicación política del área de estudio

2.2.2 Ubicación geográfica

La ubicación geográfica considerando desde el punto emisor en el sector san Ignacio II que es un punto crítico [12] presenta las siguientes coordenadas:

TABLA.2. COORDENADAS DEL PUNTO EMISOR DEL ÁREA DE ESTUDIO

COORDENADAS GEOGRAFICAS WGS - 84		COORDENADAS UTM WGS - 84	
Altitud	13°43'32.69"S	Norte	8482431.00 m S
Longitud	75°52'46.44"O	Este	404900.00 m E
		Zona	18-L

PUNTOS CRITICOS



Fig.2. Puntos críticos [12]



Fig.3. Ubicación geográfica (Google Earth)

2.2.3 Ubicación hidrográfica

La cuenca del río Pisco forma parte de la vertiente del Pacífico, el cauce principal del río Pisco mide 187 km desde su desembocadura en el océano Pacífico hasta su nacimiento en la laguna Pultoc, la cuenca seca se ubica por debajo de los 2400 msnm alcanzando una precipitación máxima de 250mm.

TABLA.3. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

UBICACIÓN	CUENCAS E INTERCUENCAS
Por el Norte	Cuenca San Juan, Intercuenca 137531, Cuenca Mantaro
Por el Sur	Intercuenca 13751, Cuenca Ica
Por el Este	Cuenca Mantaro, Cuenca Pampas, Cuenca Ica
Por el Oeste	Océano Pacífico

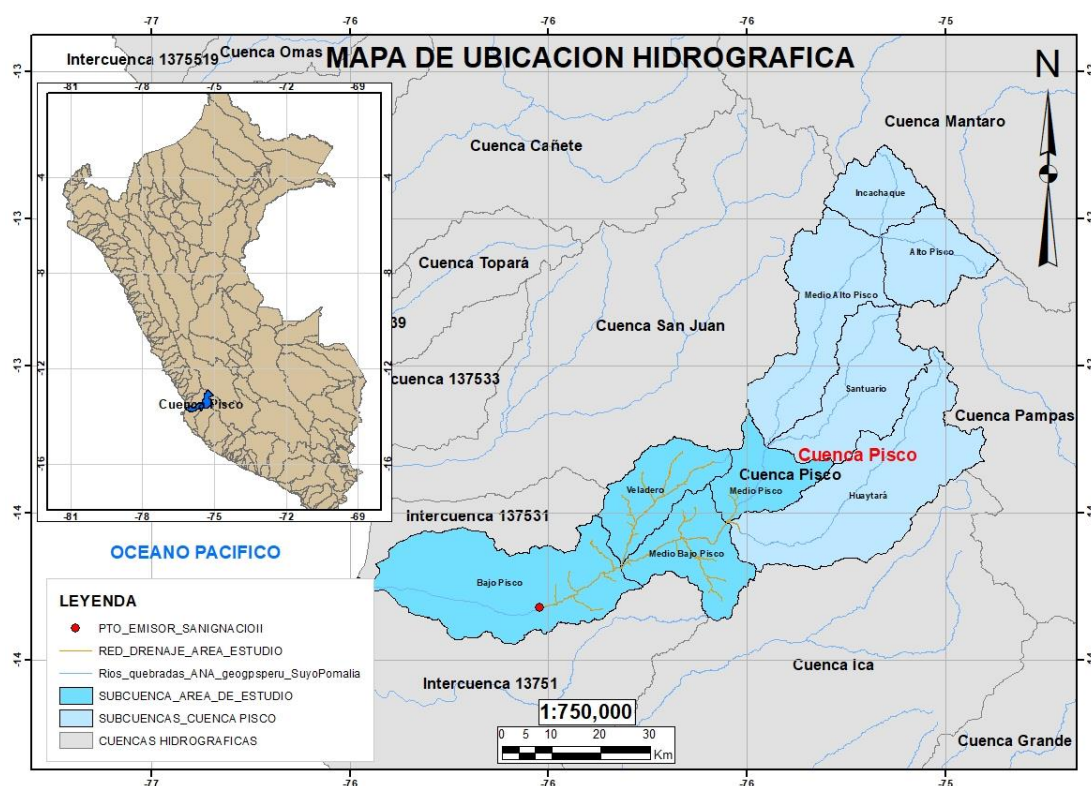


Fig.4. Mapa de ubicación hidrográfica

2.2.4 Ubicación administrativa

La autoridad administrativa es Chaparra Chincha y la administración local del agua: Pisco



Fig.5. Autoridad administrativa del agua

2.2.5 Estaciones pluviométricas

En la cuenca contamos con una estación pluviométrica llamada Letrayoc, que mide la precipitación diaria del río Pisco y los caudales medios diarios disponibles para su consumo agrícola ya que la estación controla una cuenca de 3,496 km² de extensión por su ubicación en límite inferior de la cuenca media en la cabecera del valle Pisco.

La estación Letrayoc está ubicada a una altitud de 776 msnm y situadas aguas arriba del valle de Pisco en las coordenadas: Longitud: 75°43' w" y Latitud:13°38" s".



Fig.6. Estación pluviométrica Letrayoc-ANA

TABLA.4. COORDENADAS DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA

ESTACION	ESTADO	UBICACIÓN POLITICA			UBICACIÓN GEOGRAFICA		ALTITUD
		DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO	LATITUD	LONGITUD	
LETRAYOC	FUNCIONANDO	HUMAY	PISCO	ICA	13° S	75°43' O	720.00 msnm

NOTA: Los datos obtenidos del servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú [15]



Fig.7. Mapa de ubicación hidrométrica

2.3 Descripción del área de estudio

El área de estudio es de 983.684 km², presenta zonas con cultivo al margen derecho y una pequeña parte del margen izquierdo del río Pisco, ya que es una zona agrícola, como se aprecia en la figura N°08 no cuenta con defensas ribereñas al borde del cauce, en épocas de avenida, los caudales aumentan por tanto el flujo del río se desborda a zonas aledañas, perjudicando a los cultivos, chacras, es decir perjudicando la economía de los pobladores.



Fig.8. Sector San Ignacio II

Ver Mapa	AAA	ALA	Sector	Departamento	Provincia	Distrito	Coor. Norte	Coor. Este
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	HUAYTARA	HUANCAVELICA	HUAYTARA	HUAYTARA	8495817.0000	462053.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	CHOCORVO	HUANCAVELICA	HUAYTARA	HUAYTARA	8495826.0000	462707.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	CCALLARPO SAYA	HUANCAVELICA	HUAYTARA	HUAYTARA	8495889.0000	458448.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	LA FLORESTA	ICA	PISCO	HUMAY	8481247.0000	399949.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	SAN IGNACIO I	ICA	PISCO	HUMAY	8481728.0000	402817.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	EL PALMAR	ICA	PISCO	HUMAY	8481823.0000	396134.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	DOS PALMAS	ICA	PISCO	INDEPENDENCIA	8482100.0000	395842.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	SAN IGNACIO II	ICA	PISCO	HUMAY	8482431.0000	404900.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	PACURI-SAN IGNACIO	ICA	PISCO	HUMAY	8482509.0000	405617.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	GUAYAQUIL	ICA	PISCO	HUMAY	8482974.0000	406637.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	PARIAHUANA	ICA	PISCO	HUMAY	8488382.0000	416343.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	TICRAPO	HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	TICRAPO	8527897.0000	455098.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	QUICSAMALLO	HUANCAVELICA	HUAYTARA	HUAYTARA	8496084.0000	461324.0000
Ver mapa	Cháparra-Chincha	Pisco	TSEJ TSI	HUANCAVELICA	HUAYTARA	HUAYTARA	8496323.0000	459450.0000

Fig.9. Puntos críticos del río Pisco [15]

2.4 Procedimiento realizado en la investigación

La investigación se realizó con el procedimiento detallado a continuación:

2.4.1 Digitalización del área de estudio

Este análisis es utilizado para que a través de variables numéricas se pueda caracterizar cuantitativamente una cuenca hidrográfica. estas variables la obtendremos por medio de modelos numéricos del terreno (MNTs) que hoy en día se pueden descargar en cualquier ordenador con internet.

Utilizamos técnicas de geoprocésamiento, mediante el uso de un modelo ráster de elevación que es un modelo numérico del terreno (MNT) que en efectos prácticos son sinónimos de modelo digital de elevación (MDE) o en su nombre en inglés, Digital Elevation Model (DEM).

2.4.1.1 Descarga de DEMs de 12.5 X 12.5 M

Realizaremos la descarga de los DEMs como se explica a continuación: a través del satélite ALOS PALSAR en la página del VERTEX ALASKA.

Primero, se obtuvo las coordenadas mediante Google Earth del punto emisor donde se va a analizar la descarga obtenida, en este estudio el punto emisor lo encontramos en el sector de San Ignacio II, en la localidad de Humay, del Distrito de Humay, en la Provincia de Pisco. Luego se dibujó un polígono a partir del punto emisor, que cubrió un área aguas arriba del Sector San Ignacio II, donde se realizó el análisis hidrológico.

Luego, se ingresó este polígono que abarca el área de estudio en la página del Vertex Alaska, donde se obtuvo gracias al satélite Alos Palsar solo los DEM que contenían el área de estudio importado anteriormente. La descarga del terreno se realizó en alta calidad corregido (Hi-Res Terrain Corrected) a 12.5 m de resolución espacial.

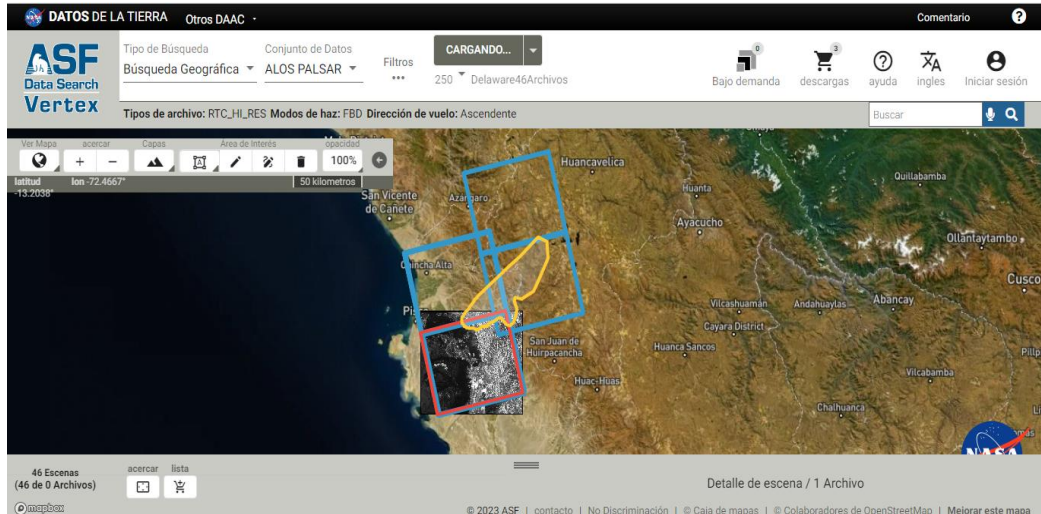


Fig.10. DEMs de descargas del VERTEX ALASKA[23]

2.4.1.2 Aplicación de la herramienta FILL del ArcGIS

Estos DEMs obtenidos con el punto emisor y el polígono del área de estudio, lo importamos al ArcGIS, donde se realizó el preproceso de conversión de capas a shapefile, luego con la herramienta Fill, se rellenó el shapefile DEMs y se tomó como base este nuevo shapefile para los procesos posteriores.

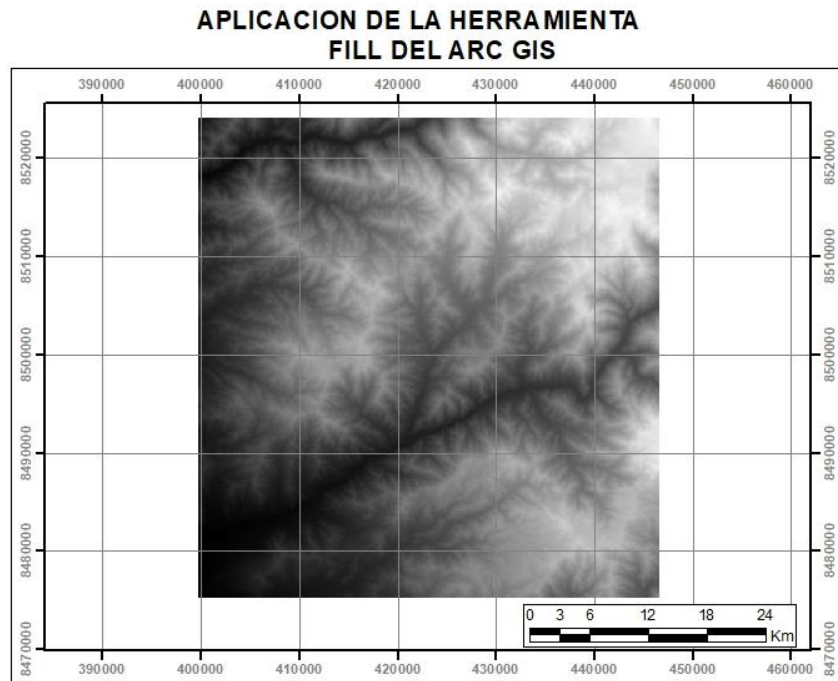


Fig.11. Aplicación de la herramienta FILL en Arc Gis

2.4.1.3 Aplicación del Flow Direction y Flow Accumulation

Luego realizamos el cálculo de la dirección de flujo, con la herramienta Flow Direction. seguido aplicamos la herramienta Flow Accumulation para hallar la acumulación de flujo.

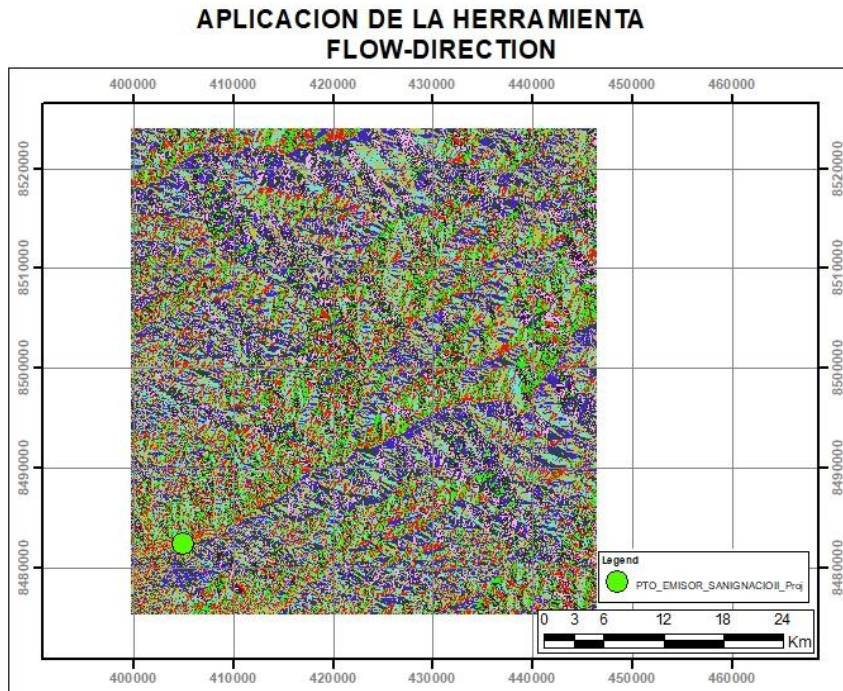


Fig.12. Aplicación de la herramienta Flow Direction en Arc GIS

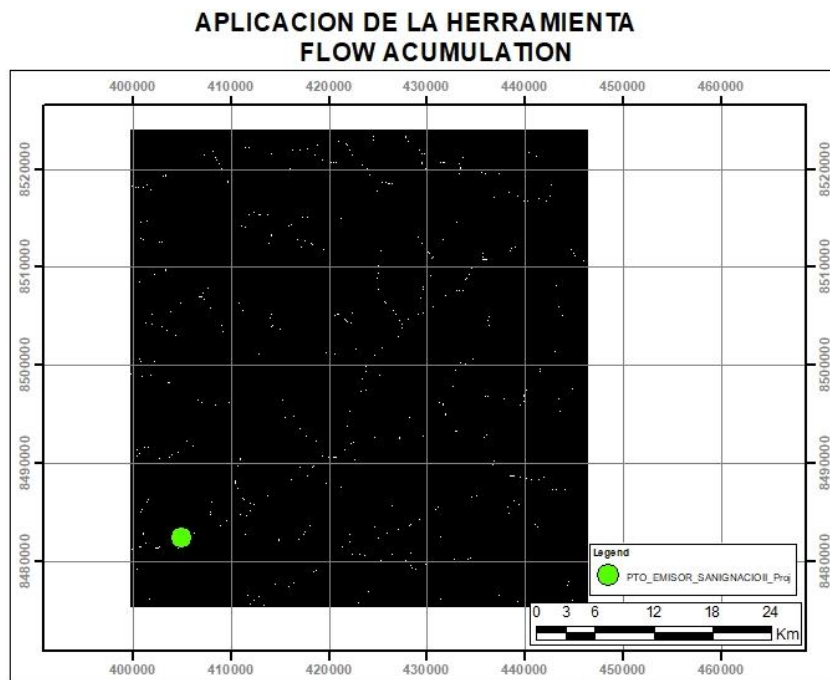


Fig.13. Aplicación de la herramienta Flow Accumulation en Arc GIS

2.4.1.4 Delimitación del área de estudio con Watershed

La delimitación del área de estudio se obtuvo a través de la herramienta Watershed. Para ello el punto emisor debe estar dentro de la red de flujo.

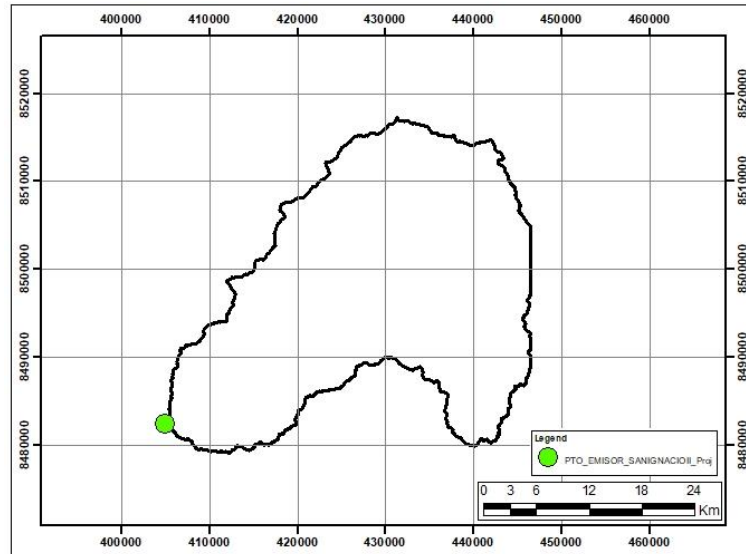


Fig.14. Aplicación de la herramienta Watershed para delimitación del área de estudio

Visualizamos el área de estudio en 3D a través de Arcscene

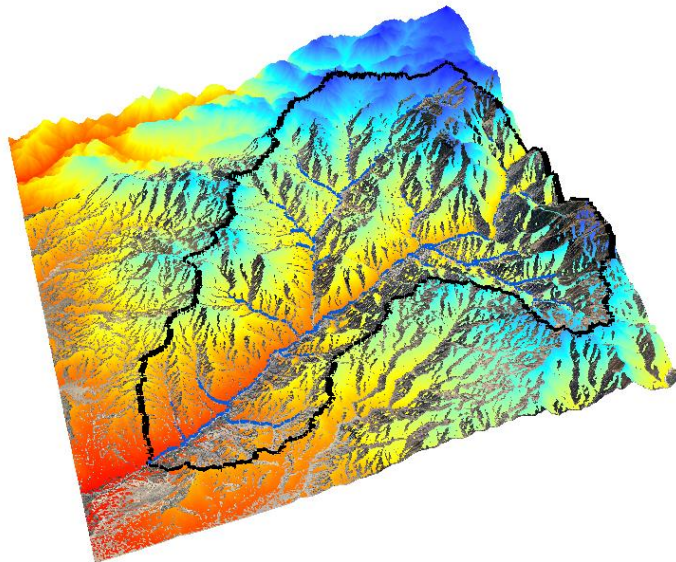


Fig.15. Aplicación de la herramienta Arcscene para delimitación del área de estudio

2.4.1.5 Red de drenaje del área de estudio

Visualización de la red de drenaje en Google Earth

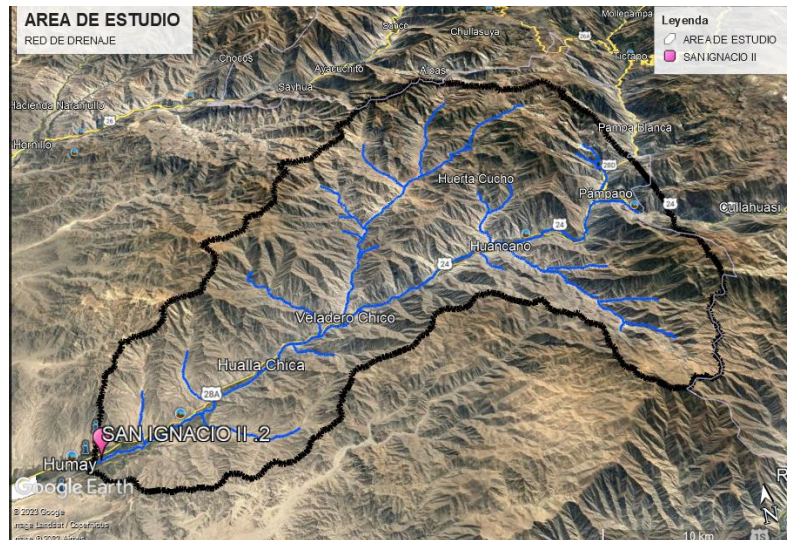


Fig.16. Red de drenaje en Google Earth

2.4.2 Parámetros geo-morfométricos de la cuenca

El escurrimiento de las aguas en una cuenca hidrográfica depende de las características geomorfológicas y morfométricas de la cuenca. EL principal factor determinante de estas características en el análisis de flujos superficiales y sub superficiales es la topografía, estos datos obtenidos con la topografía , hoy en día pueden obtenerse mediante modelos de elevación digital. En esta elaboración de tesis trabajaremos con los DEMs obtenidos mediante el satélite Alos Palsar.

La caracterización morfométrica es uno de los primeros pasos a realizar para caracterizar la cuenca hidrográfica. este paso es importante y de suma relevancia debido a que el camino del agua en una cuenca hidrográfica depende de sus características, y el tener conocimiento de ellas, nos ayuda a establecer estrategias para un mejor manejo de cuencas.

Obtención de la geomorfología del área de estudio a través del ArcGIS, aplicación del Fast Watershed Delineation Method (FWD), podremos identificar sumideros, la dirección de flujo, el cálculo de acumulación de flujo, delimitación de las cuencas hidrográficas y la red de flujo.

2.4.2.1 Parámetros geométricos:

los parámetros geométricos obtenidos en el área de estudio son: área, perímetro, centroide en x y en y, ancho promedio longitud de máximo recorrido, desnivel altitudinal los cuales se muestran en las tablas 5 y 6.

TABLA.5. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

PARAMETRO GEOMETRICO DEL AREA DE ESTUDIO	AREA (km ²)	PERIMETRO (km)	Gx (m)	Gy (m)	LONG MAX RECORRIDO (m)
	983.864	168.851	428571.633	8497174.743	66303.953

TABLA.6. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

PARAMETRO GEOMETRICO DEL AREA DE ESTUDIO	ANCHO PROMEDIO (km)	DESNIVEL ALTITUDINAL		DZ (m)
		MINIMUN (m)	MAXIMUN (m)	
	14.839	423	3782	3359

2.4.2.2 Parámetros de forma:

Los parámetros de forma del área de estudio tenemos al índice de compacidad, factor de forma y el rectángulo equivalente, como se muestra en la Tabla N°6.

Factor de Forma

Es el cociente entre el área de estudio en km² y la longitud del cauce principal en km. mientras el factor de forma de una cuenca sea más bajo estará menos sujeta a crecientes, comparando con otras cuencas del mismo tamaño, pero con mayor factor de forma. (Información Básica de Cuenca - Ana)

Fórmula para el cálculo de factor de forma:

$$F = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2}$$

TABLA.7. FACTOR DE FORMA

Factor de forma	Tipo de forma
1.00	cuadrado con salida central
0.79	circular o redonda
0.50	cuadrado con salida lateral
0.40 y 0.50	oval
<0.30	rectangular alargada

Nota: Información Básica de Cuenca del Ana [19]

En el área de estudio se tiene un factor de forma de 0.224 lo que indica que se trata de una cuenca rectangular alargada

Coeficiente De Compacidad o Gravelius

Este coeficiente se obtiene mediante una relación que hay entre el perímetro del área de estudio con relación al perímetro de un círculo que contenga la misma área de estudio. se expresa mediante la siguiente formula. este coeficiente relaciona la forma de la cuenca con similitudes de formas redondas [19]

Formula:

$$k = \frac{P}{2\sqrt{\pi \times A}}$$

TABLA.8. COEFICIENTE DE COMPACIDAD

Factor de forma	Forma
1.00-1.25	Redonda a oval redonda(compacta)
1.25-1.50	Oval redonda a oval oblonga
1.50-1.75	oval oblonga a rectangular oblonga
>1.75	casi rectangular (alargada)

Nota:según FAO,1985

El coeficiente de compacidad obtenido es 1.519 lo que quiere decir según muestra la Tabla N°7 que el área de estudio es de oval oblonga a rectangular oblonga.

Rectángulo Equivalente:

El rectángulo equivalente es una transformación puramente geométrica del área de estudio a un rectángulo de igual área y perímetro. donde se admite que una cuenca tiene un comportamiento hidrológicamente similar a la de un rectángulo con la misma área y perímetro.[18]

TABLA.9. PARÁMETROS DE FORMA DEL ÁREA DE ESTUDIO

PARAMETRO DE FORMA DEL AREA DE ESTUDIO	INDICE DE COMPACIDAD	FACTOR DE FORMA	RECTANGULO EQUIVALENTE	
	Ic	Ff	L1	L2
	1.519	0.224	71.248	13.809

2.4.2.3 Parámetros de relieve

Los parámetros de relieve calculados por el ArcGIS son de la siguiente manera:

Pendiente De La Cuenca

La pendiente media de la cuenca controla la velocidad de la escorrentía superficial. La pendiente media y pendiente ponderada del área de estudio se realizará mediante, el promedio aritmético y el promedio ponderado correspondientemente, se analiza cual valor considerar. El cálculo de la pendiente media se realizó con el promedio aritmético por el método directo del programa ArcGIS

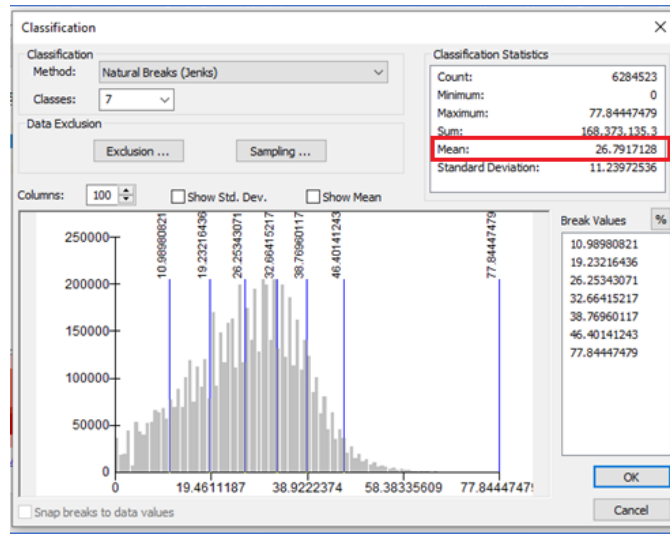


Fig.17. Pendiente media calculado en el programa ArcGIS

θ prom 26.79

El cálculo de la pendiente ponderada se realizó con los datos de tabla N°09 y las fórmulas correspondientes.

TABLA.10. PENDIENTE PONDERADA MEDIANTE EL PROMEDIO PONDERADO

clase	L Inf	L sup	MC	area_m2	MC*a
1	0	10.989808	5.494904	96485000	530175812.4
2	10.989808	19.232164	15.110986	152095156.3	2298307777
3	19.232164	26.253431	22.7427975	194986875	4434547013
4	26.253431	32.664152	29.4587915	218902187.5	6448593900
5	32.664152	38.769601	35.7168765	183783281.3	6564164759
6	38.769601	46.401412	42.5855065	107229375	4566417246
7	46.401412	77.844475	62.1229435	28474843.75	1768941109
		SUMA	213.2328055	981956718.8	26611147618

$$x_p = \frac{x_1\alpha_1 + x_2\alpha_2 + \dots}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots}$$

x1= MC

a1= Área

Para obtener la pendiente en grados:

$$S = \text{Tang}(\theta) = \frac{\Delta z}{\Delta L}$$

$$\theta_{pond} = \frac{\text{SUM}(Mc \times A)}{\text{SUM}(A)}$$

Pendiente ponderado en grados

θ_{pond} 27.10

Se toma como resultado la pendiente ponderada del área de estudio ya que la cuenca no es asimétrica, como se observa en la Figura N°18. Es por ello que el promedio ponderado es el más recomendado. se trabajaría con el promedio aritmético para distribuciones simétricas.

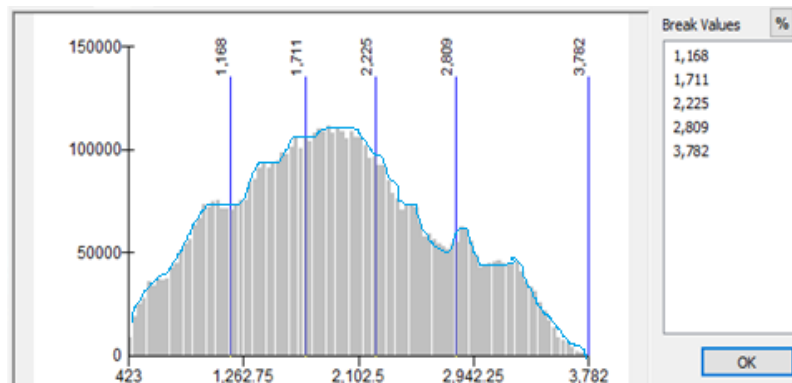


Fig.18. Asimetría de la cuenca

Altitud del área de estudio

La elevación esta referida al nivel del mar, tienen importancia en zonas montañosas generalmente para conocimiento de la climatología de la región [19]

En la figura N°19 podemos apreciar la altitud media del área de estudio mientras que en la tabla N.º 10 apreciamos la altitud ponderada del área de estudio

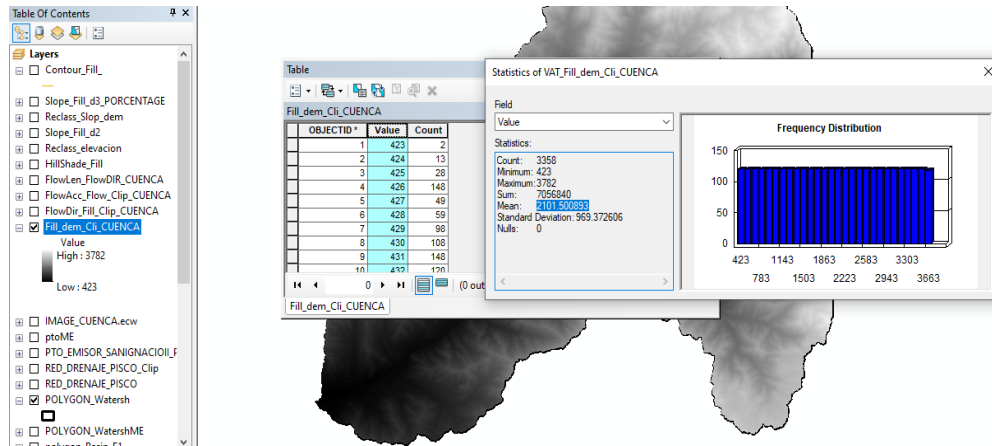


Fig.19. Altitud media por el promedio aritmético por el método directo mediante el ArcGIS

$$Z_{\text{prom}} = 2101.500 \text{ m.s.n.m}$$

TABLA.11. ALTITUD PONDERADA DEL ÁREA DE ESTUDIO

clase	L inf	L sup	MC_elevacion	area_km2(shp)	MC_elev*a
1	423.0	796.2	609.6	55.55	33864.42
2	796.2	1169.4	982.8	115.12	113144.05
3	1169.4	1542.7	1356.1	147.65	200219.72
4	1542.7	1915.9	1729.3	182.11	314925.40
5	1915.9	2289.1	2102.5	178.84	376013.58
6	2289.1	2662.3	2475.7	122.77	303939.54
7	2662.3	3035.6	2848.9	92.20	262659.68
8	3035.6	3408.8	3222.2	72.17	232541.21
9	3408.8	3782.0	3595.4	17.44	62711.75
SUMA			18922.50	983.85	1900019.36

La altitud ponderada se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Z_{\text{pond}} = 1931.2 \text{ m.s.n.m}$$

$$x_{\text{Pond}} = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots}{w_1 + w_2 + \dots}$$

w_1 : Áreas parciales
 x_1 : Elevaciones medias

Tomamos como valor de altitud del área de estudio a la altitud hallada por el promedio ponderado, ya que según la Figura N°18 el área de estudio es asimétrico y es recomendable los promedios ponderados para estas distribuciones.

En forma rápida la altitud media de la cuenca puede determinarse a partir de la ordenada media del histograma de altitudes del área de estudio.

Curva hipsométrica:

En la figura N°22 se muestran 3 curvas hipsométricas de tres cuencas diferentes. La curva A, nos da una referencia de una cuenca altamente erosiva a fase de vida de ríos de juventud, la curva intermedia b, representa una cuenca en equilibrio con una fase de vida de ríos fase de madurez, y la curva inferior c, representa una cuenca sedimentaria, con una fase de vida de los ríos, fase vejez. [18]

La curva hipsométrica de concavidad hacia arriba, indica una cuenca con valles extensos y cumbres escarpadas y lo contrario indicaría valles profundos y sabanas planas [19]

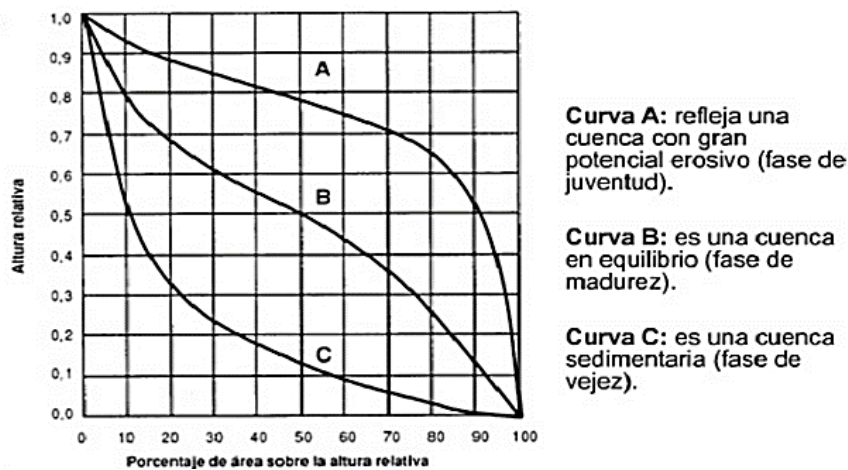


Fig.20. Curva hipsométrica-ciclo de erosión de una cuenca [19]

TABLA.12. ÁREA ACUMULADA VERSUS ELEVACIÓN ACUMULADA

CLASE	AREA ACUMULADA %	ELEV %	ELEV ACUMU%
	0		0
1	5.6%	3.2%	3.2%
2	17.3%	5.2%	8.4%
3	32.4%	7.2%	15.6%

4	50.9%	9.1%	24.7%
5	69.0%	11.1%	35.8%
6	81.5%	13.1%	48.9%
7	90.9%	15.1%	64.0%
8	98.2%	17.0%	81.0%
9	100.0%	19.0%	100.0%

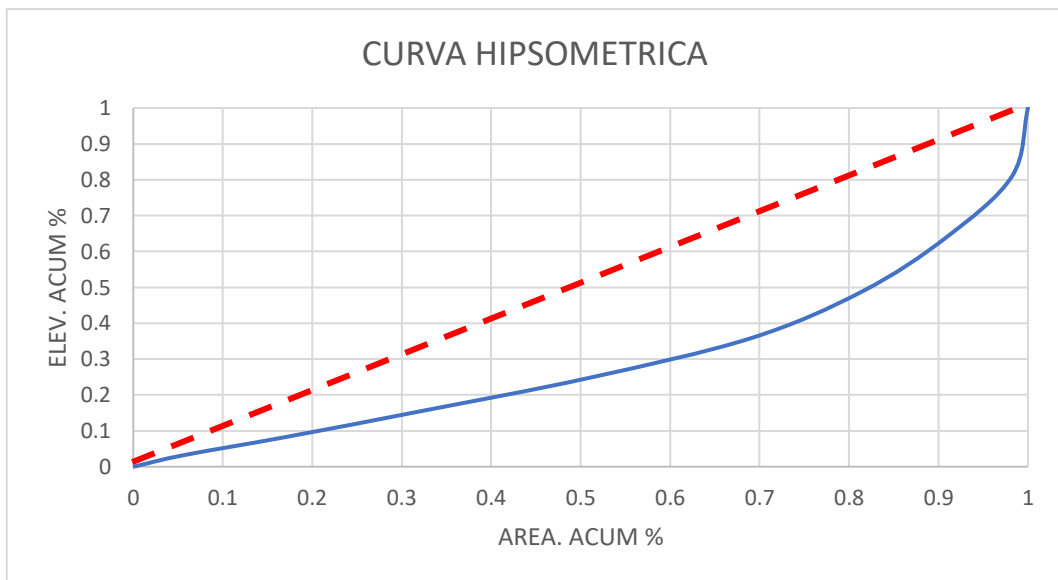


Fig.21. Curva hipsométrica

Según la Figura N°21 se observa una curva hipsométrica con concavidad hacia abajo y el área acumulada está por debajo de la línea recta dibujada, lo que significa e indica que el área de estudio en la cuenca Pisco indica un área de cuenca sedimentaria con valles profundos y sabanas planas en la fase de vejez.

Coefficiente de masividad:

El coeficiente de masividad se obtiene al realizar la división entre la altura media del área de estudio entre su área.

$$C_M = \frac{H}{A}$$

H: Zpond m.s.n.m altura ponderada de la cuenca

A: Km²

A: 983.85
 Zpond: 1931.2
CM: 1.96

2.4.2.4 Parámetro de Red Hidrográfica

Longitud de máximo recorrido:

La longitud de máximo recorrido del río desde su parte más alejada dentro del área de estudio hasta el punto emisor es de 66 303.95 m

Pendiente del cauce:

Cálculo de la pendiente promedio

Relación entre las altitudes y la longitud del río

$$si = \frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1}$$

Pendiente Promedio

S_{prom} 0.047785403

S_{prom} 4.78 %

Cálculo de la pendiente ponderada

Para poder obtener la pendiente ponderada del cauce, fue necesario antes obtener el perfil del cauce, con los datos obtenidos se realiza el cálculo correspondiente, para este procedimiento consideramos trabajar os con valores positivos.

Datos:

N+	5165	N-	578
Smin	-11.31	0.001	
Smax	105.22		
R	105.22		

N: número de datos

Smin: Pendiente mínima

Smax: Pendiente máxima

R: rango, Smin - Smax

Según STURGES el número de clase (NC)

$$Nc = 1 + 3.3 \times \log_{10}(N)$$

NC= 13.25 13

Ancho de clase (w):

$$w = \frac{RANGO}{Nc}$$

W = 8.09

TABLA.13.

MARCA DE CLASE VS FRECUENCIA

NºC	Linf	Lsup	MC	obs/frecuencia	MC*OBS
1	0.001	8.095	4.048	4153	16810.46
2	8.095	16.188	12.141	430	5220.79
3	16.188	24.282	20.235	238	4815.92
4	24.282	32.375	28.329	174	4929.16
5	32.375	40.469	36.422	70	2549.55
6	40.469	48.562	44.516	38	1691.60
7	48.562	56.656	52.609	29	1525.67
8	56.656	64.750	60.703	14	849.84
9	64.750	72.843	68.796	9	619.17
10	72.843	80.937	76.890	5	384.45
11	80.937	89.030	84.984	4	339.93
12	89.030	97.124	93.077	0	0.00
13	97.124	105.217	101.171	1	101.17
SUMA				5165	39837.70

Obs: cuantos datos de pendientes se ubican entre 0 y 7.20

$$x_{Pond} = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + \dots}{w_1 + w_2 + \dots}$$

X1= MC
W1= OBS

Xpond=	7.71
---------------	-------------

Podemos obtener la condición del terreno por su clase de pendiente - Van Zuidan, para una pendiente ponderada de 7.71% la condición del terreno: pendiente baja, peligro severo de erosión.

Clase de pendiente		Condiciones del terreno
(°)	(%)	
0-2	0-2	Planicie, sin denudación aprecianle.
2-4	2-7	Pendiente muy baja, peligro de erosión.
4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión.
8-16	15-30	Pendiente moderada, deslizamiento ocasionales, peligro de erosión severo.
16-35	30-70	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos.
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible.
>35	>140	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada.

Fig.22. Clase de pendiente [24]

Orden de drenaje:

La forma en la que estén conectados las ramificaciones de una cuenca, influye en el evento de la precipitación. El orden de drenaje de la cuenca es un número que identifica el grado de ramificación.

El área de estudio presenta un río de cuarto orden de drenaje, ya que su cauce principal a la salida o en el punto emisor en el sector san Ignacio II es de cuarto orden, como se muestra en la Fig.23

TABLA.14. LONGITUDES DE LOS NIVELES DEL ORDEN DE DRENAJE

Orden drenaje	Cantidad - orden	Longitud
1	26	97929.43195
2	12	63829.67816
3	7	26005.84223
4	6	21393.3968
Long Red Hídrica (M)		209158.3491

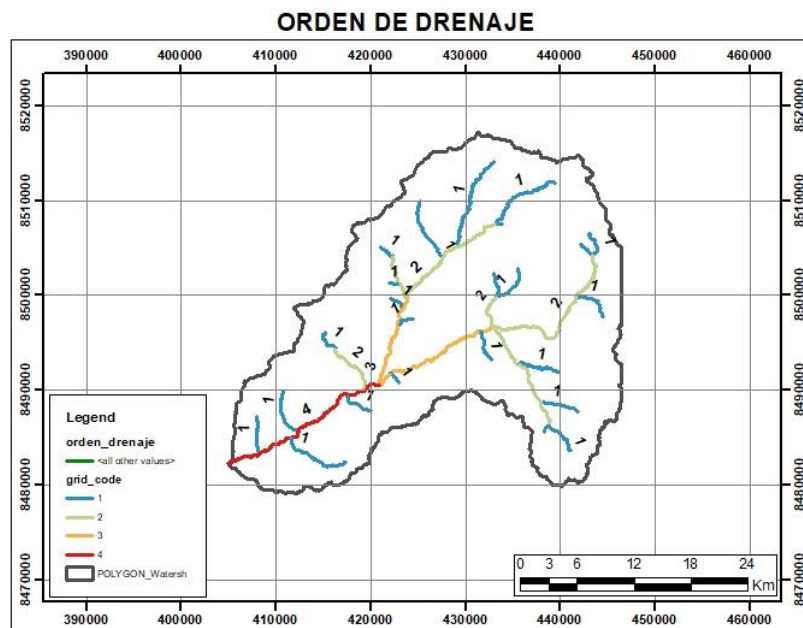


Fig.23. Orden de drenaje

Densidad de drenaje:

La densidad de drenaje es la relación entre la longitud total de las ramificaciones del orden de drenaje entre el área de la cuenca, que es el área de estudio.

$$D_R = \frac{LONG(KM)}{A CUENCA(KM^2)}$$

Área de estudio (km ²)	983.86	
Longitud	209158.35	m
	209.16	km
DR =	0.21 km/km ²	
DR desde 0.5	Cuenca con drenaje pobre	
DR > 1.2	Cuenca bien drenada	

La cuenca de estudio tiene una densidad de drenaje de 0.21 km/km², la cual no es una cuenca bien drenada.

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que se demora una gota para poder recorrer desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto emisor, en este caso nuestro punto emisor es en el sector san Ignacio II.

Datos:

A: Área (Km²) = 983.863803 Km²

L: Long máximo recorrido del perfil del río (Km) = 66.3039 Km

S: Pendiente ponderada del perfil del río = 0.077130106

H: Diferencia de altitudes = 3359 m.s.n.m.

H min 423 m.s.n.m.

H max 3782 m.s.n.m.

TABLA.15. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN HORAS Y MINUTOS

Tiempo de concentracion-Autores	Ecuacion (Hrs)	Tc-hr	Tc-min
Kirpich	$T_c = 0.06628 \times \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$	4.491	269.487
California(U.S.B.R)	$T_c = \left(\frac{0.87075 \times L^3}{H}\right)^{0.385}$	5.286	317.174
Bransby-williams	$T_c = 14.6 \times \frac{LA^{-0.1}S^{-0.2}}{60}$	13.521	811.249
Tèmez	$T_c = 0.3 \times \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$	11.828	709.692
Passini	$T_c = \frac{0.108 \times (A.L)^{\frac{1}{3}}}{S^{0.5}}$	15.654	939.264
Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$	4.851	291.064
Desviacion Estandar		4.539	272.330
Varianza		20.601	74163.768
Mínimo		4.491	269.487
Máximo		15.654	939.264
Promedio		9.272	556.322

TABLA.16. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS OBTENIDOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Parámetros Geomorfológicos del área de estudio						
Parámetros					Área de estudio	
Superficie total de la cuenca			A	Km ²	983.864	
Perímetro			P	Km	168.851	
Centroide en X			Gx	Km	428.572	
Centroide en Y			Gy	Km	8497.175	
Altitud máxima			Hmax	msnm	3782	
Altitud mínima			Hmin	msnm	423	
Relaciones de forma	Factor de cuenca	Factor de forma	Coefficiente de gravelius	$K=P/2*RAIZ(\pi*A)$	K	1.5185
			Longitud de máximo recorrido	Long Max	Km	66.304
			Ancho medio	$W=A/Lmax$	Km	14.839
			Factor de forma	$Ff=A/L2$	1	0.224
	rectángulo equivalente		Lado mayor	$l=$	Km	71.248
		Lado menor	$B=$	Km	13.809	
Parámetros de relieve	Pendiente de la zona de estudio	Pendiente promedio		ArcGIS	Grados	26.79
		Pendiente ponderada		$x_p = \frac{x_1\alpha_1 + x_2\alpha_2 + \dots}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots}$	Grados	27.10
	Altitud de la zona de estudio	Altitud promedio		ArcGIS	m.s.n.m	2101.5
		Altitud ponderada		$x_{Pond} = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + \dots}{w_1 + w_2 + \dots}$	m.s.n.m	1931.2
Coeficiente de masividad			$CM=H/A$	1	1.96	
Sistema de drenaje	Longitud de máximo recorrido			Long Max	Km	66.304
	pendiente del cauce	Pendiente promedio		$si = \frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1}$	%	4.78
		Pendiente ponderada		$x_{Pond} = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + \dots}{w_1 + w_2 + \dots}$	%	7.71
	Grado de ramificación	Longitud total	Orden 1		M	97.929
			Orden 2		M	63.83
			Orden 3		M	26.006
			Orden 4		M	21.393
Long red hidrica total					209.158	
Densidad de drenaje			$Dd=Long(km)/A(km^2)$	Km/Km ²	0.21	
Tiempo de concentración	Autores	Kirpich	$T_c = 0.06628 \times \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$	Horas	4.491	
		california(U.S.B.R)	$T_c = \left(\frac{0.87075 \times L^3}{H}\right)^{0.385}$	Horas	5.286	
		Bransby-Williams	$T_c = 14.6 \times \frac{LA^{-0.1}S^{-0.2}}{60}$	Horas	13.521	
		Temez	$T_c = 0.3 \times \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$	Horas	11.828	
		Passini	$T_c = \frac{0.108 \times (A.L)^{\frac{1}{3}}}{S^{0.5}}$	Horas	15.654	
		Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$	Horas	4.851	
	Prome dio					9.272

2.4.3. Geología del área de estudio

Grandes grupos de suelos

Estos grandes grupos de suelos han sido generados para obtener mapas de suelos hidrológicos y curva número, según la ONERN se han identificado en la cuenca del río Pisco 11 asociaciones de suelos, según las similitudes en geográfica, geología y topografías. Estas son las siguientes:

TABLA.17. ASOCIACIÓN DE GRANDES GRUPOS DE SUELOS

Item	Grupos dominantes de suelo	Cap.suelo
1	Asociación Fluviosol Eutrico (Irrigado)	IV Y VIII
2	Asociación Fluviosol Eutrico (Seco)	IV Y VIII
3	Asociación regosol Eutrico Seco	VIII
4	Asociación Ermosol Cálcico	III y VIII
5	Asociación Solonchak Ortico	IV y VIII
6	Asociación Solonchak Oleico	VIII
7	Asociación Solonchak gleico-Fluviosol Oleico	VIII
8	Asociación Lítico-Litosol Desértico	VIII y VII
9	Asociación Lítico Andino	VIII y VII
10	Asociación Paramo Andosol (Vítrico Y Háplico)-Litosol Andino	VIII y VII
11	Asociación Lítico -Nival	VIII

Nota: la presente información es obtenida de ONERN [25]

TABLA.18. CAPACIDAD DE USO DE SUELOS

Tipo de agricultura	Clase	Características generales
Intensiva	I	Tierras muy buenas para cultivos intensivos y otros usos. Arable.
	II	Tierras buenas para cultivo, intensivas y otros usos. Arable.
	III	Tierras inadecuadamente buenas para cultivos intensivos y otros usos. Arables.
	IV	Tierras regulares para cultivos intensivos y otros usos. Arables. Marginales para agricultura intensiva.
Permanente	V	Tierras no apropiadas para pastoreo intensivas. Generalmente no arable
	VI	Tierras apropiadas para cultivos permanente pastoreo y forestales. No arables
Marginal	VII	Tierras regulares o marginales aparentes solo para pastoreo intensivo y forestales. No arables
Sin uso	VIII	Tierras no apropiadas para fines agropecuarias ni forestales

Nota: la presente información es obtenida de ONERN [21]

El área de estudio abarca una parte de la cuenca media y baja del Rio pisco, como se muestra en la Tabla N°17 la asociación de suelos de suma importancia para el valle Pisco es la asociación fluviosol eutrico (irrigado) con capacidad de suelo IV (tierras regulares para cultivos intensivos) y VIII (tierras no apropiadas para fines agropecuarios) y asociación fluviosol eutrico (seco) con la misma capacidad de suelo que la anterior. Otra asociación de suelos de importancia para la sub cuenca media del rio Pisco es la asociación Lítico-Litosol, con capacidad de suelo VIII (tierra no apropiada para fines agropecuarios ni forestales) y VII (tierras

regulares o marginales aparente solo para pastoreo intensivo no forestales). Con el grupo dominante de suelos y la capacidad de uso, se determina el grupo de suelo hidrológico.

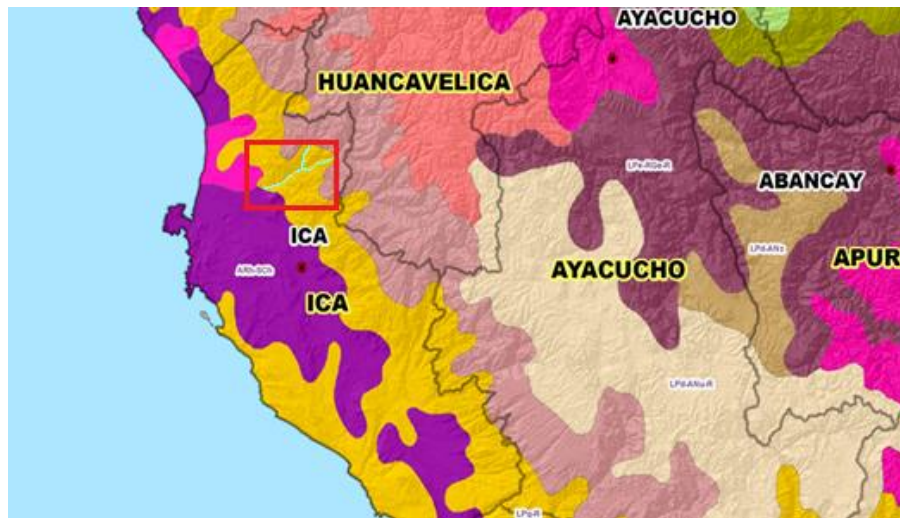


Fig.24. Mapa de suelos de la región Ica-sig

SÍMBOLO	COLOR	ASOCIACION DE SUELOS
ACH-ALh-LVh		Acrisol haplico - Alisol haplico - Luvisol haplico
ACH-ALh-LXh		Acrisol haplico - Alisol haplico - Lixisol haplico
ARh-SCh		Anemisol haplico - Solonchak haplico
CMd-ACH		Cambisol distrito - Acrisol haplico
CMd-ALh		Cambisol distrito - Alisol haplico
CMd-Ach-LXh		Cambisol distrito-Acrisol haplico-Lixisol haplico
CMd-NTh		Cambisol distrito - Nitisol haplico
CMe-PHh		Cambisol eutrico - Phaeozem haplico
CMe-VHh		Cambisol eutrico - Vertisol eutrico
Flu-GLe		Fluvisol eutrico - Gleysol eutrico
Flu-RGe		Fluvisol eutrico - Regosol eutrico
GLd-CMd		Gleysol distrito - Cambisol distrito
GLd-HSt		Gleysol distrito - Histosol fbrico
GLd-LXh-FLd		Gleysol distrito-Lixisol haplico-Fluvisol distrito
LPd-ANu-R		Leptosol distrito-Andosol umbrico-Afloramiento litico
LPd-ANz		Leptosol distrito - Andosol vitrico
LPd-CMd-RGd		Leptosol distrito-Cambisol distrito-Regosol distrito
LPd-R		Leptosol distrito - Afloramiento litico
LPd-RGd-R		Leptosol distrito-Regosol distrito-Afloramiento litico
LPe-CMe		Leptosol eutrico - Cambisol eutrico
LPe-CMe-RGe		Leptosol eutrico-Cambisol eutrico-Regosol eutrico
LPe-KSh-R		Leptosol eutrico-Kastanozem haplico-Afloramiento litico
LPe-R		Leptosol eutrico - Afloramiento litico
LPe-RGe		Leptosol eutrico - Regosol eutrico
LPe-RGe-R		Leptosol eutrico-Regosol eutrico-Afloramiento litico
LPq-R		Leptosol litico - Afloramiento litico
LVi-CMe		Luvisol cramico - Cambisol eutrico

Fig.25. Asociación de suelos-SIG

2.4.5 Numero de curva del área de estudio

De acuerdo a la descripción con el grupo dominante de suelo según la tabla N°17 Asociación de grandes grupos de suelos y la capacidad de uso de suelos en la tabla N°18 respectivamente, se le asigno un grupo hidrológico B como se aprecia en la tabla siguiente.

DESCRIPCION DE SUELOS	SIMBOLOGIA	GRUPO HIDROLOGICO
Acrisol háplico - Alisol háplico - Lixisol háplico	ACh-ALh-LXh	C
Acrisol háplico - Alisol háplico - Luvisol crómico	ACh-ALh-LVx	C
Arenosol háplico - Solonchak háplico	ARh-SCh	A
Cambisol dístico - Acrisol háplico	CMd-ACh	C
Cambisol dístico - Acrisol háplico - Lixisol háplico	CMd-ACh-LXh	C
Cambisol dístico - Alisol háplico	CMd-ALh	C
Cambisol dístico - Nitisol háplico	CMd-NTh	C
Cambisol éutrico - Phaeozem háplico	CMe-PHh	B
Cambisol éutrico - Vertisol éutrico	CMe-VRe	C
Fluvisol éutrico - Gleysol éutrico	FLe-GLe	B
Fluvisol éutrico - Regosol éutrico	FLe-RGe	B
Gleysol dístico - Cambisol dístico	GLd-CMd	B
Gleysol dístico - Histosol fibrico	GLd-HSf	D
Gleysol dístico - Lixisol háplico - Fluvisol dístico	GLd-LXh-FLd	A
Leptosol dístico - Afloramiento lítico	LPd-R	B
Leptosol dístico - Andosol mbrico - Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	B
Leptosol dístico - Andosol vítrico	LPd-ANz	B
Leptosol dístico - Cambisol dístico - Regosol dístico	LPd-CMd-RGd	B
Leptosol dístico - Regosol dístico - Afloramiento lítico	LPd-RGd-R	B
Leptosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-R	B
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico	LPe-CMe	C
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico - Regosol éutrico	LPe-CMe-RGe	B
Leptosol éutrico - Kastanozem háplico - Afloramiento lítico	LPe-KSh-R	B
Leptosol éutrico - Regosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-RGe-R	B
Leptosol lítico - Afloramiento lítico	LPq-R	B

Fig.28. Grupo hidrológico del uso de suelo

El suelo hidrológico del área de estudio se ha obtenido mediante la información de los mapas de grandes grupos de suelos y cobertura de vegetación, y con la fig.28 grupo hidrológico de uso de suelo se obtuvo el grupo: B. Calculamos por CN para cada descripción de tierra. Sabemos que: CN: curva numero

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad S: \text{ en pulgadas}$$

el CN se aplican para condiciones antecedentes de húmedas (siglas en inglés *AMC*). El equivalente a la curva número (*AMC II*) en condiciones normales, se calculan mediante la siguiente fórmula:

Para condiciones secas
$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.0058CN(II)}$$

Para condiciones húmedas
$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación con tratamientos de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68 39	79 61	86 74	89 80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ²	45 25	66 55	77 70	83 77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	39 49	61 69	74 79	80 84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

1 Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9

2 Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

Fig.29. Valores número de curva para condiciones normales (*AMC II*) según VENTE CHOW

TABLA.19. CALCULO DE CURVA NÚMERO PONDERADA CON LOS DATOS OBTENIDOS

Uso de tierra	Grupo hidrológico	Según mapa %	Area (Km2)	CN	CN compuesto
Vega de rio	B	60.0%	590.3183	58	68.8
Grava		40.0%	393.5455	85	

La curva número se ha obtenida mediante un promedio compuesto de los CN para cada uso de tierra teniendo como resultado en condiciones normales CN (II) de =68.8 para condiciones normales. Aplicando la fórmula para condiciones húmedas (AMC III) tenemos un CN(III)=83.53.

La curva número para condiciones húmedas en el área de estudio también lo hallamos en el ArcGIS, mediante el mapa de curva número del Perú desarrollado por el SNIRH -ANA, para diferentes usos de suelos, nos da rangos de curva número como muestra en la figura N°31 Mapa de curva número-SNIRH ANA

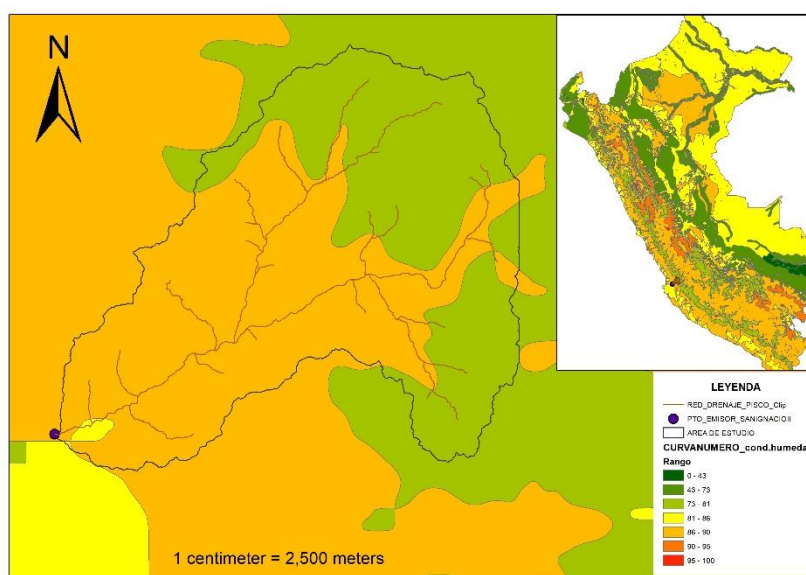


Fig.30. Mapa - curva número para condiciones húmedas - SNIRH ANA

Promediando el número curva para cada uso de suelo queda la siguiente manera:



Fig.31. Curva Numero promedio

Al calcular el promedio ponderado de la curva número con los datos de la tabla N°19, se ha obtenido para condiciones de humedad una curva número compuesta de CN(III)=83.5138. Que, aplicando la formula obtenemos un CN (II)=68.774.

TABLA.20. DATOS PARA LA OBTENCIÓN DE CN(AMC III) COMPUESTO

Color	Descripción	%	Rango de NC		CN prom	Área parcial (Km2)	Área Total (Km2)
Verde	A1	40.53	73	81	77	398.7600	983.8638
Anaranjado	A2	58.85	86	90	88	579.0038	
Amarillo	A3	0.62	81	86	83.5	6.1000	

$$CN_{compuesto} = \frac{A_1 NC_{prom_1} + A_2 NC_{prom_2} + \dots}{A_1 + A_2 + \dots}$$

$$CN_{compuesto} = 83.5138$$

Entonces vamos a escoger trabajar con el promedio de ambos Curva Numero En Condiciones Normales CN(II) compuestos, siendo mi curva número a ingresar al programa Hec Hms, CN promedio =68.787

2.4.6 Análisis y tratamiento de información pluviométrica

2.4.6.1 Información pluviométrica

En el área de estudio se ha identificado estaciones próximas como se muestra

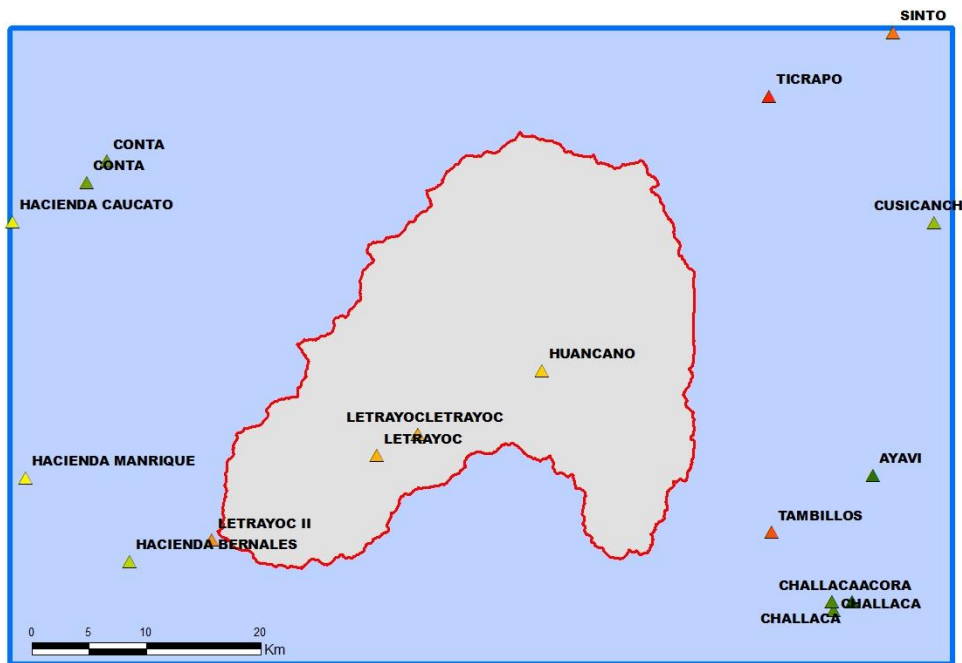


Fig.32. Estaciones aledañas al área de estudio

Para elegir la estación influyente al área de estudio, debido a que las estaciones aledañas no se encuentran en funcionamiento y no son del tipo pluviométrico como se muestra en la siguiente Tabla.Nº21 se trabajó con la estación Letrayoc.

TABLA.21. DESCRIPCIÓN DE ESTACIONES

FID	TIP_EST	TIP_SUBEST	ESTADO	ANO_INICIO	ANO_FINAL	INSTI_OPER	RIO	Nombre	CODIGO
0	HIDROMETRICA	LIMNIMETRICA	FUNCIONANDO	2000		SENAMHI	ICA	CHALLACA	203706
1	HIDROMETRICA	LIMNIMETRICA	FUNCIONANDO	1921	1987	ELECTROPERU	PISCO	LETRAYOC	203601
2	HIDROMETRICA	LIMNIMETRICA	PARALIZADO	1957		SENAMHI		LETRAYOC II	203603
3	HIDROMETRICA	LIMNIGRAFICA	FUNCIONANDO	1972		SENAMHI	PISCO	LETRAYOC	203602
4	HIDROMETRICA	LIMNIGRAFICA	FUNCIONANDO	1994		SENAMHI	SAN JUAN	CONTA	203501
5	CLIMATICA	CLIMATICA ORDINARIA	FUNCIONANDO	2000		SENAMHI		CHALLACA	6640
6	CLIMATICA	PLUVIOMETRICA	CERRADO	1984	1992	SENAMHI		AYAVI	151510
7	CLIMATICA	CLIMATICA ORDINARIA	CERRADO	1963	1982	SENAMHI		ACORA	644
8	CLIMATICA	PLUVIOMETRICA	CERRADO	2003	2004	SENAMHI		CHALLACA	156151
9	CLIMATICA	PLUVIOMETRICA	CERRADO	1984	1991	SENAMHI		TAMBILLOS	151502
10	CLIMATICA	PLUVIOMETRICA	FUNCIONANDO	1999		SENAMHI		CONTA	156219
11	CLIMATICA	CLIMATICA ORDINARIA	CERRADO	1960	1967	SENAMHI		HACIENDA CAUCATO	721
12	CLIMATICA	CLIMATICA ORDINARIA	FUNCIONANDO	1960		SENAMHI		HACIENDA BERNALES	650
13	CLIMATICA	CLIMATICA ORDINARIA	CERRADO	1972	1981	SENAMHI		SINTO	645
14	CLIMATICA	PLUVIOMETRICA	CERRADO	1963	1988	SENAMHI		TICRAPO	156117
15	CLIMATICA	CLIMATICA ORDINARIA	FUNCIONANDO	1964		SENAMHI		HUANCANO	639
16	CLIMATICA	PLUVIOMETRICA	FUNCIONANDO	1999		SENAMHI		LETRAYOC	156132
17	CLIMATICA	CLIMATICA ORDINARIA	FUNCIONANDO	1964		SENAMHI		CUSICANCHA	156121
18	CLIMATICA	CLIMATICA ORDINARIA	CERRADO	1958	1967	SENAMHI		HACIENDA MANRIQUE	723

Al realizar el descarte, nos quedamos con la estación de Conta y Letrayoc, siendo esta ultima la que tiene toda la influencia del área de estudio. Esto lo escogemos por ser la única estación pluviométrica en funcionamiento e influyente en el área de estudio, también al realizar el método de polígono de Thiessen, respalda la conclusión obtenida anteriormente.

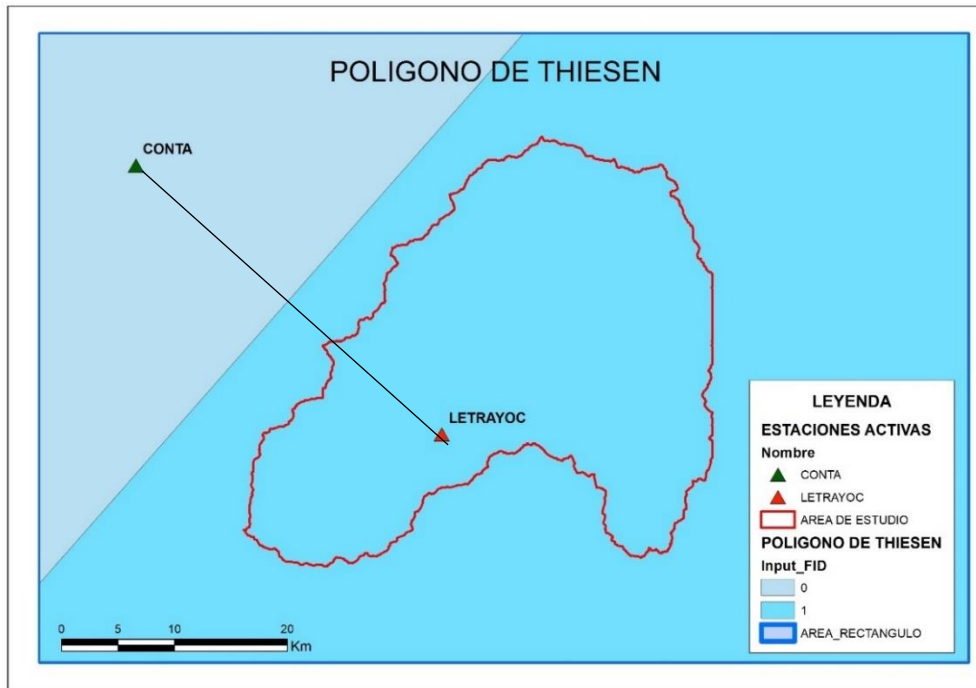


Fig.33. Polígono de Thiessen

2.4.6.2 Información disponible

Se trabajo con la información de precipitación Max 24h, con serie de datos históricos que se obtuvo mediante el ANDREA [21] (análisis de datos y recursos estadísticos del agua) que es una herramienta del ANA.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA	
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA	
Estación	Letrayoc
Variable	Precipitación Máxima En 24 Horas / Año (m)
Operador	Servicio Nacional Meteorología E Hidrolog
WGS 84 Geográficas	Latitud: -13.65 / Longitud: -75.716667 / Alt
Tipo	Convencional / Climática
Ámbito Político	Dpto: Ica / Prov: Pisco / Dist.: Huancano
Ámbito Administrativo	AAA: Chaparra Chincha / ALA: Pisco
Unidad Hidrográfica	Cuenca Pisco
Año	Dato
1999	
2000	
2001	2.7
2002	
2003	1.9
2004	0.3
2005	3.5
2006	4.6
2007	0.8
2008	7.1
2009	4.7
2010	
2011	3.4
2012	
2013	
2014	5.2
2015	6.2
2016	
2017	11.3

Fig.34. Información HISTORICA De la estación Letrayoc según ANDREA [21]

Se realizó la completación de datos pluviométricos con la ayuda de la herramienta del SNIRH-ANA llamada ANDREA, para ello ubicamos las estaciones correspondientes a la misma regionalización, estudios realizados por el SENAMHI [22] para el agrupamiento de las estaciones a nivel regional de todo el Perú, donde trabajamos con los datos de las estaciones Letrayoc, Huancano, Tambo, Llauta, correspondientes a la región 6C, con un promedio de desviación estándar de desvíos $Prom\ Desv.Esta.Desv = 0.355$.

Se obtuvo como resultado los siguientes datos.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA	
Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua - ANDREA	
Letrayoc - Precipitación Máxima en 24 Horas / Año (mm)	
Año	Dato
1999	14.13
2000	3.31
2001	2.7
2002	6.01
2003	1.9
2004	0.3
2005	3.5
2006	4.6
2007	0.8
2008	7.1
2009	4.7
2010	1.96
2011	3.4
2012	2.72
2013	7.82
2014	5.2
2015	6.2
2016	5.14
2017	11.3
2018	3.9

Fig.35. Completacion de datos de la estación Letrayoc [21]

2.4.6.3 Análisis de consistencia de una muestra hidrológica

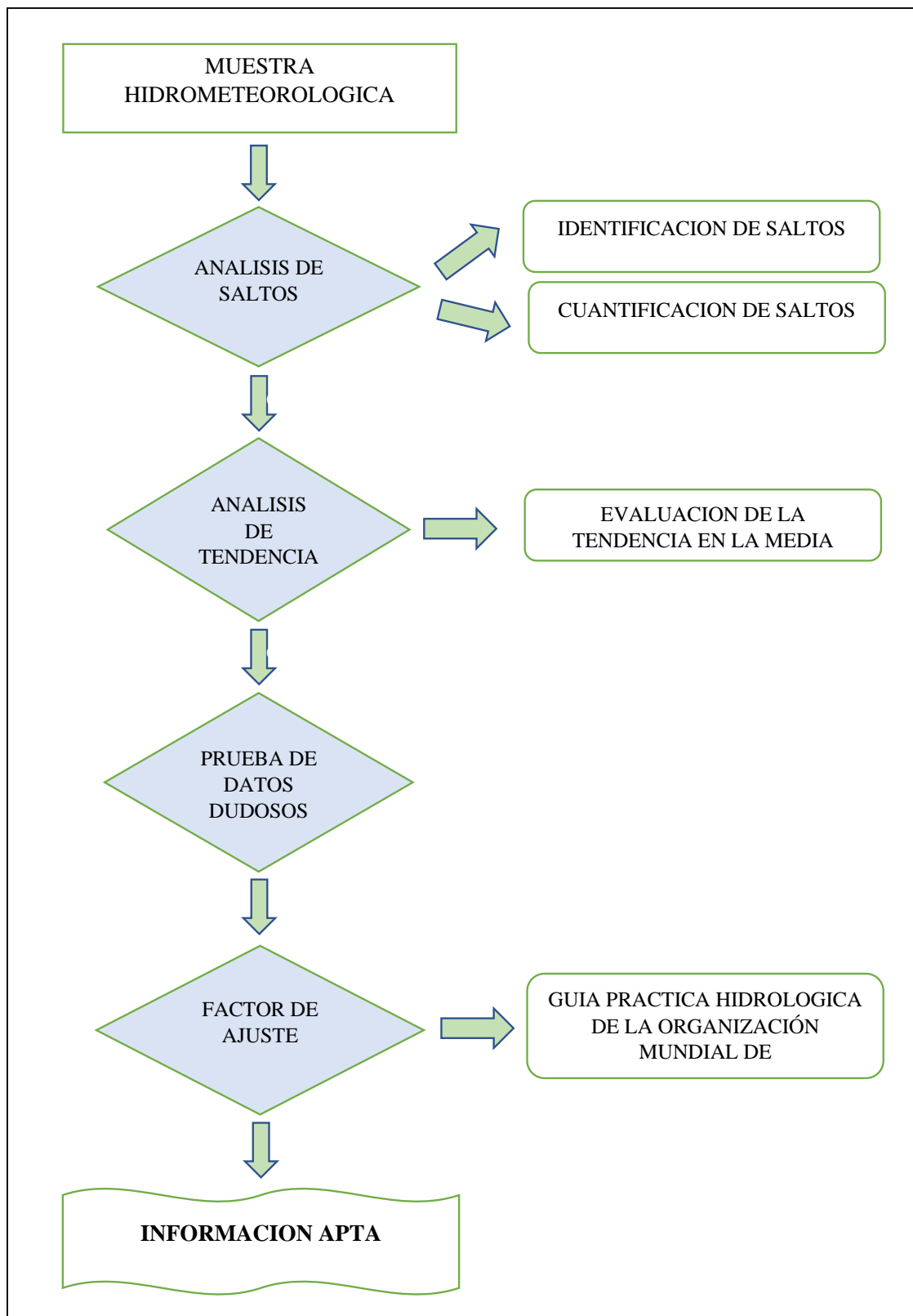


Fig.36. Flujoograma del proceso de análisis de datos

2.4.6.3.1 Análisis de saltos mediante el método grafico:

Es un análisis visual de la información original, se grafica en escala aritmética el valor de la variable, en este estudio hablamos de la precipitación máxima de 24h en el eje de las ordenadas versus el tiempo en años en el eje de las abscisas, mediante un hidrograma.

IDENTIFICACION DE SALTOS

mediante el grafico de las series históricas obtenidas, se analiza visualmente si presentan o no saltos.

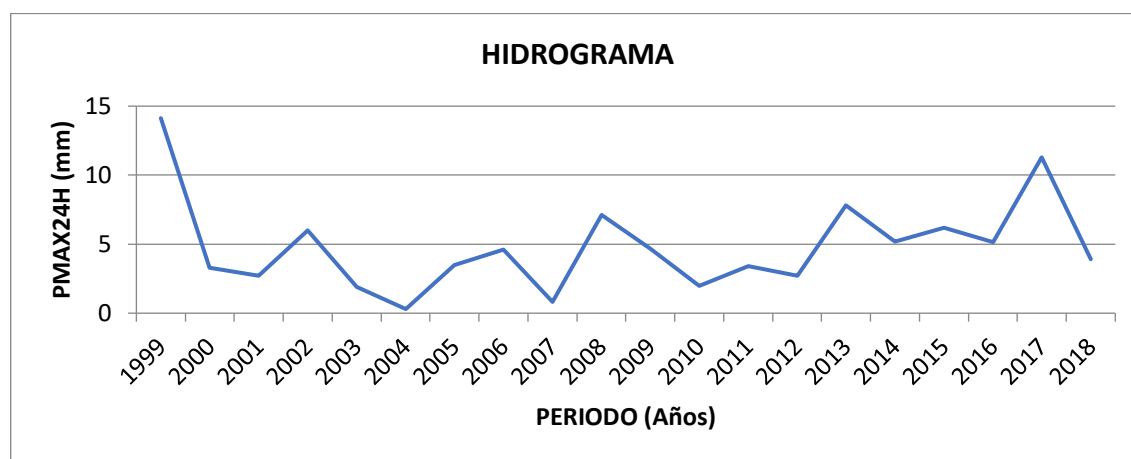


Fig.37. Hidrograma-análisis de saltos

no se observa presencia de saltos de datos a simple vista, de igual forma se va a evaluar y demostrar estadísticamente.

Evaluación y cuantificación de saltos

Lo dividimos en dos periodos para el análisis estadístico de saltos

TABLA.22. PERIODO DE EVALUACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SALTOS

PERIODO 1		PERIODO 2	
AÑO	PMAX24H	AÑO	PMAX 24H
1999	14.130	2010	1.960
2000	3.310	2011	3.400
2001	2.700	2012	2.720
2002	6.010	2013	7.820
2003	1.900	2014	5.200
2004	0.300	2015	6.200
2005	3.500	2016	5.140
2006	4.600	2017	11.300
2007	0.800	2018	3.900
2008	7.100	Promedio	5.293
2009	4.700	S	2.885
Promedio	4.459		
S	3.815		

Consistencia en la media

Formulación de la hipótesis a evaluar

Tenemos HP como hipótesis planteada y HA como hipótesis alterna, con un nivel de confianza $100 - \alpha$ del 95% y el nivel de significancia exigido en ingeniería hidrológica es de $\alpha = 5\%$

HP: Las medias muestrales de los datos de los periodos 1 y periodo 2 son equivalentes estadísticamente al nivel de confianza

HA: Las medias muestrales de los datos de los periodos 1 y periodo 2 NO son equivalentes estadísticamente al nivel de confianza

$$\mathbf{HP: } \bar{x}_1 = \bar{x}_2$$

$$\mathbf{HA: } \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$$

“La media de los periodo 1 y 2 de la estacion letrayoc son estadísticamente equivalentes o no son estadísticamente equivalentes”

Mediante las fórmulas calculamos el T calculado - “Tc”

$$T_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{S_d} \quad s_d = s_p \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$S_p = \left[\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (X_1 - \bar{X}_1)^2$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (X_1 - \bar{X}_2)^2$$

Con la tabla de T, se calcula el T tabular: “Tt”

Para calcular el Tt se necesita los grados de libertad GL para ubicarlos en la Fig N° 38.

$$GL_1 = n_1 - 1 \quad \text{Periodo 1}$$

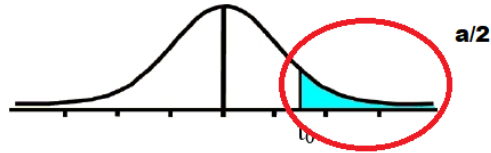
$$GL_2 = n_2 - 1 \quad \text{Periodo 2}$$

El grado de libertad total se expresa mediante la siguiente fórmula:

$GL = n_1 + n_2 - 2$ para un nivel de significancia de $\alpha = 5\%$ para ambos lados, como en el gráfico solo trabaja con un lado, tenemos un $\alpha = \frac{5\%}{2}$

Y se obtiene mediante la siguiente Tabla.

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

Fig.38. Valores de T - student

Al aplicar las fórmulas y la tabla T de student obtenemos los siguientes resultados:

TABLA.23. DATOS OBTENIDOS DE LA CONSISTENCIA EN LA MEDIA

Sp =	3.433
Sd =	1.543
Te =	-0.541
GL =	18
Tt =	2.101
Decisión =	Ok

Criterio de aceptación o rechazo

Si:

$|Tc| \leq Tt \alpha = 5\%$ Aceptar hipótesis planteada HP

$|Tc| > Tt \alpha = 5\%$ aceptar la hipótesis alterna HA

Como mi Tc es menor a mi Tt aceptamos la hipótesis planteada. Y decimos que la prueba T es no significativa y la información es correcta.

Consistencia en la varianza

Formulación de la hipótesis

Las hipótesis se plantean de la siguiente manera:

$$HP: S_1^2 = S_2^2, \alpha = 0.05$$

$$HA: S_1^2 \neq S_2^2, \alpha = 0.05$$

Las variables de periodo 1 y periodo 2 de la estación Letrayoc son iguales o diferente, donde S_1^2 y S_2^2 son las varianzas muestrales.

Mediante las siguientes fórmulas calculamos el “Fc”:

$$F_c = \frac{s_1^2(x)}{s_2^2(x)}, \text{ si: } s_1^2(x) > s_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{s_2^2(x)}{s_1^2(x)}, \text{ si: } s_2^2(x) > s_1^2(x)$$

El grado de libertad para el numerador (GLN) y para el denominador (GLD) se obtiene mediante la siguiente formula, para un nivel de significancia $\alpha = 5\%$

$$GLN = n_1 - 1$$

$$GLD = n_2 - 1$$

Y con la Tabla Fisher se determina el F tabular- “Ft”

$1 - \alpha = 0.95$ \square = grados de libertad del numerador
 $1 - \alpha = P(F \leq f_{\alpha, \square_1, \square_2})$ \square = grados de libertad del denominador

$\square_1 \backslash \square_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	161.446	199.499	215.707	224.583	230.160	233.988	236.767	238.884	240.543	241.882	242.981	243.905	244.690	245.363	245.949	246.466	246.917	247.324	247.688	248.016
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.405	19.412	19.419	19.424	19.429	19.433	19.437	19.440	19.443	19.446
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703	8.692	8.683	8.675	8.667	8.660
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936	5.912	5.891	5.873	5.858	5.844	5.832	5.821	5.811	5.803
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619	4.604	4.590	4.579	4.568	4.558
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027	4.000	3.976	3.956	3.938	3.922	3.908	3.896	3.884	3.874
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511	3.494	3.480	3.467	3.455	3.445
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218	3.202	3.187	3.173	3.161	3.150
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006	2.989	2.974	2.960	2.948	2.936
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845	2.828	2.812	2.798	2.785	2.774
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719	2.701	2.685	2.671	2.658	2.646
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617	2.599	2.583	2.568	2.555	2.544
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533	2.515	2.499	2.484	2.471	2.459
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463	2.445	2.428	2.413	2.400	2.388
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403	2.385	2.368	2.353	2.340	2.328
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352	2.333	2.317	2.302	2.288	2.276
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.413	2.381	2.353	2.329	2.308	2.289	2.272	2.257	2.243	2.230
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.290	2.269	2.250	2.233	2.217	2.203	2.191
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.340	2.308	2.280	2.256	2.234	2.215	2.198	2.182	2.168	2.155
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310	2.278	2.250	2.225	2.203	2.184	2.167	2.151	2.137	2.124
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283	2.250	2.222	2.197	2.176	2.156	2.139	2.123	2.109	2.096
22	4.301	3.443	3.048	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151	2.131	2.114	2.098	2.084	2.071
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236	2.204	2.175	2.150	2.128	2.109	2.091	2.075	2.061	2.048
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.620	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.216	2.183	2.155	2.130	2.108	2.088	2.070	2.054	2.040	2.027
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.136	2.111	2.089	2.069	2.051	2.035	2.021	2.007
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072	2.052	2.034	2.018	2.003	1.990
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056	2.036	2.018	2.002	1.987	1.974
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041	2.021	2.003	1.987	1.972	1.959
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.050	2.027	2.007	1.989	1.973	1.958	1.945
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015	1.995	1.976	1.960	1.945	1.932
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924	1.904	1.885	1.868	1.853	1.839
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986	1.952	1.921	1.895	1.871	1.850	1.831	1.814	1.798	1.784
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.952	1.917	1.887	1.860	1.836	1.815	1.796	1.778	1.763	1.748
70	3.978	3.128	2.736	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.928	1.893	1.863	1.836	1.812	1.790	1.771	1.753	1.737	1.722
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910	1.875	1.845	1.817	1.793	1.772	1.752	1.734	1.718	1.703
90	3.947	3.098	2.706	2.473	2.316	2.201	2.113	2.043	1.986	1.938	1.897	1.861	1.830	1.803	1.779	1.757	1.737	1.720	1.703	1.688
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.886	1.850	1.819	1.792	1.768	1.746	1.726	1.708	1.691	1.676
200	3.888	3.041	2.650	2.417	2.259	2.144	2.056	1.985	1.927	1.878	1.837	1.801	1.769	1.742	1.717	1.694	1.674	1.656	1.639	1.623
500	3.860	3.014	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.808	1.772	1.740	1.712	1.686	1.664	1.643	1.625	1.607	1.592
1000	3.851	3.005	2.614	2.381	2.223	2.108	2.019	1.948	1.889	1.840	1.798	1.762	1.730	1.702	1.676	1.654	1.633	1.614	1.597	1.581

Fig.39. Valores de la distribución de Fisher-F

Obtenemos los siguientes resultados

TABLA.24. DATOS OBTENIDOS DE LA CONSISTENCIA EN LA VARIANZA

F_c =	1.749
GLN =	10
GLD =	8
F_t =	3.072
Decisión =	Ok

Criterio de aceptación o rechazo

Si:

$F_c \leq F_t \alpha = 5\%$ Aceptar hipótesis planteada HP-Muestra consistente

$F_c > F_t \alpha = 5\%$ aceptar la hipótesis alterna HA-Muestra inconsistente

Como mi Fc es menor a mi Ft aceptamos la hipótesis planteada. Y decimos que la prueba F es no significativa y la información es consistente.

2.4.6.3.2 Análisis de tendencia en la media

La tendencia al igual que los saltos se aparecen en la media y en la varianza, esta última generalmente se presentan en lo datos semanales o mensuales, por ello no la vamos a considerar

Evaluación en la tendencia de la media para datos anuales

Mediante las fórmulas calculamos el T calculado - "Tc"

$$T_c = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

Donde:

$$R = \frac{\overline{tT_m} - \bar{t}\overline{T_m}}{S_t \times S_{T_m}}$$

$$S_{T_m} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (t_{m1} - \overline{t_m})^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$S_t = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (t_1 - \bar{t})^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Tc: Valor del estadístico T calculado

n: número de datos

R: coeficiente de correlación

$\overline{T_m}$: Promedio de las tendencias "Tm"

\bar{t} : Promedio del tiempo "t"

S_{tm}: Desviación standar de la tendencia de la media Tm

S_t: Desviación estándar del tiempo

Cálculo del T tabular - Tt

El valor del T tabular se obtiene de la tabla N° 25 Tabla T de student, con un nivel de significancia $\alpha = 5\%$

$$GL = n - 2$$

Criterio de aceptación

$|T_c| \leq T_t \alpha = 5\%$ Aceptar hipótesis planteada HP (Prueba no significativa)

$|T_c| > T_t \alpha = 5\%$ aceptar la hipótesis alterna HA (prueba significativa)

En el primer caso la muestra es consistente.

DATOS	ESTACION LETRAYOC		t . Tm
	AÑO	P MAX 24H	
1	1999	14.130	28245.87
2	2000	3.310	6620
3	2001	2.700	5402.7
4	2002	6.010	12032.02
5	2003	1.900	3805.7
6	2004	0.300	601.2
7	2005	3.500	7017.5
8	2006	4.600	9227.6
9	2007	0.800	1605.6
10	2008	7.100	14256.8
11	2009	4.700	9442.3
12	2010	1.960	3939.6
13	2011	3.400	6837.4
14	2012	2.720	5472.64
15	2013	7.820	15741.66
16	2014	5.200	10472.8
17	2015	6.200	12493
18	2016	5.140	10362.24
19	2017	11.300	22792.1
20	2018	3.900	7870.2
Promedio	2008.500	4.835	9711.947
S	5.916	3.368	-
R	0.093		

Fig.40. Datos para el análisis de tendencia en la media de la estación Letrayoc

Se obtienen los siguientes resultados aplicando las fórmulas:

TABLA.25. DATOS OBTENIDOS DE LA TENDENCIA EN LA MEDIA

Tc =	0.396
GL =	18
Tt =	1.996
Decisión =	Ok

Entonces la muestra es consistente, no presenta saltos ni tendencias, no se procede a eliminar ni corregir ningún dato.

2.4.6.4 Prueba de datos dudosos (Water Resources Council)

Se pone en práctica la realización de la prueba de datos dudosos también conocido como outlier, para conocer los puntos de la información de la muestra que se alejan significativamente de la tendencia. Como en los análisis anteriores nos dan a conocer que la muestra no presenta saltos ni tendencias, esta prueba se realizó por procedimiento y para comparación.

Año	Pmax24	Log(P24hr)
1999	14.1	1.15
2000	3.3	0.52
2001	2.7	0.43
2002	6.0	0.78
2003	1.9	0.28
2004	0.3	-0.52
2005	3.5	0.54
2006	4.6	0.66
2007	0.8	-0.10
2008	7.1	0.85
2009	4.7	0.67
2010	2.0	0.29
2011	3.4	0.53
2012	2.7	0.43
2013	7.8	0.89
2014	5.2	0.72
2015	6.2	0.79
2016	5.1	0.71
2017	11.3	1.05
2018	3.9	0.59

Fig.41. Muestra de los datos de precipitación máxima 24h y Log(P24hr)

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fig.42. Valores de K_n para la prueba de datos dudosos

Coeficientes de sesgo

Si la asimetría de estación es mayor que +0.4, se considera primero las pruebas para detectar datos dudosos altos.

Si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran pruebas para detectar de datos dudosos bajos.

Cuando la asimetría de la estación esta entre -0.4 y +0.4, deben aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos.

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	20.00	20.000
Sumatoria	96.69	11.284
Valor Máximo	14.13	1.150
Valor Mínimo	0.30	-0.523
Media:	4.83	0.564
Varianza:	11.35	0.145
Desviación Estándar:	3.37	0.380
Coefficiente Variación:	0.70	0.674
Coefficiente de Sesgo:	1.35	-1.2892
Se Considera:	Aplicar pruebas para detectar datos dudosos bajos	

n= 20.00
K_n = 2.385
K_n : Valor recomendado, varia según el valor de n (significancia:10%)

Fig.43. Parámetros estadísticos obtenidos de la muestra

Luego se procede con el cálculo de los umbrales mínimos y máximos como se detalla a continuación:

Umbral de datos dudosos bajos (xL: unidad. Logarítmicas)

$$xL = -0.34$$

Precipitación mínima aceptada

$$PH = 10xH \quad PL = 0.45 \text{ mm}$$

Existen datos dudosos mínimo de la muestra

Umbral de datos dudosos altos (xH: unidad. Logarítmicas)

$$xH = 1.47$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10xH \quad PH = 29.62 \text{ mm}$$

No existen datos dudosos alto de la muestra

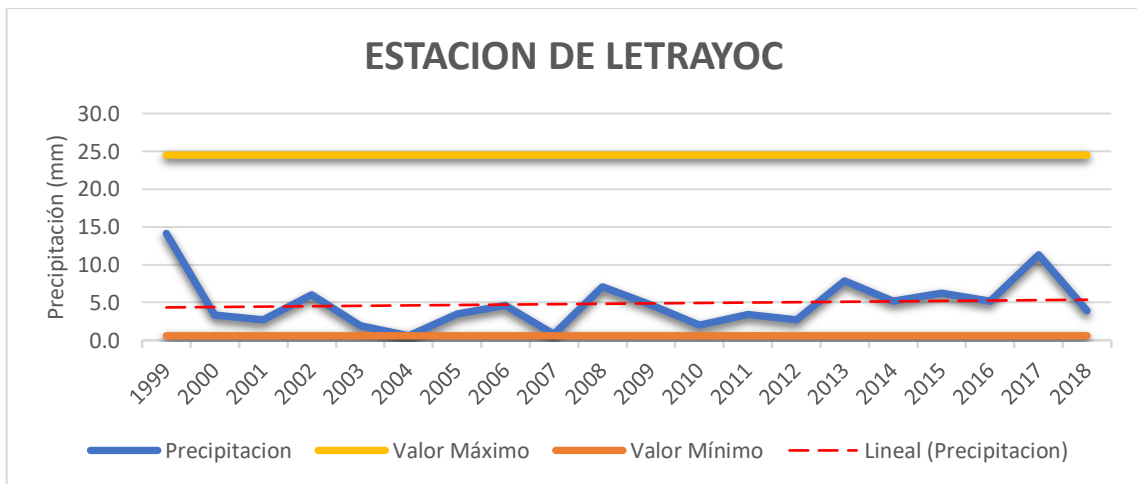


Fig.44. Hidrograma de precipitación máxima de 24horas en la estación Letrayoc - Outlier

Como existe un dato dudoso bajo en la muestra, tomamos la decisión de reemplazarlo por el mínimo aceptado, hasta ya no obtener existencia de datos dudosos bajos quedando los umbrales de datos dudosos y las precipitaciones máximas 24h de la siguiente forma:

Umbral de datos dudosos altos (xH: unidad. Logarítmicas)

$$xH = 1.39$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10xH \quad PH = 24.50 \text{ mm}$$

no existen datos dudosos altos de la muestra

Umbral de datos dudosos bajos (xL: unidad. Logarítmicas)

$$xL = -0.23$$

Precipitación mínima aceptada

$$PH = 10xH \quad PL = 0.59 \text{ mm}$$

no existen datos dudosos mínimo de la muestra

Año	Pmax24	Log(P24hr)
1999	14.1	1.15
2000	3.3	0.52
2001	2.7	0.43
2002	6.0	0.78
2003	1.9	0.28
2004	0.6	-0.23
2005	3.5	0.54
2006	4.6	0.66
2007	0.8	-0.10
2008	7.1	0.85
2009	4.7	0.67
2010	2.0	0.29
2011	3.4	0.53
2012	2.7	0.43
2013	7.8	0.89
2014	5.2	0.72
2015	6.2	0.79
2016	5.1	0.71
2017	11.3	1.05
2018	3.9	0.59

Fig.45. Datos de precipitación Max 24H y Log(p24h) corregido

2.4.6.5 Periodo de retorno y probabilidad de ocurrencia

En el periodo de retorno a utilizar en el diseño de una obra, se considera la relación entre: la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil, y el riesgo de falla admisible, según MTC [16]

Los valores del riesgo admisible lo vemos en la siguiente tabla.

TABLA.26. VALORES MÁXIMOS RECOMENDADOS DE RIESGO ADMISIBLE

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
PUENTES	25
ALCANTARILLAS DE PASO DE QUEBRADAS IMPORTANTES Y BADENES	30
ALCANTARILLAS DE PASO DE QUEBRADAS MENOPRES Y DESCARGA DE AGUA DE CUNETAS	35
DRENAJE DE PLATAFORMA (A NIVEL LONGITUDINAL)	40
SUBDRENES	40
DEFENSAS RIBEREÑAS	25

Nota: valores obtenidos por el MTC

Se considera para obras de defensa ribereña el 25% de riesgo admisible con una vida útil considerada para puentes y defensas ribereñas n=40 años [16]

Calculamos el periodo de retorno T(años)

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

R: riesgo admisible

T: tiempo de retorno

n: vida útil

tenemos un R=25% y n=40 años, reemplazamos y obtenemos un T=139.5años, redondeamos y consideramos un periodo de retorno de T=140 años.

2.4.6.6 Factor de ajuste de las precipitaciones

Según la guía de prácticas hidrológicas de la organización mundial de meteorología [16] explica que las estaciones de datos pluviométricos indican que al multiplicar las cantidades máximas anuales de lluvia diario para un solo intervalo de observación de una a 24horas por el factor que indica en la tabla siguiente, como es 1.13 en este caso. Los valores obtenidos se aproximan mucho a los que se obtendrán en un análisis de los máximos reales, todo varía de acuerdo a las cantidades intervalo de observación fija realizados en la estación correspondiente.

TABLA.27. FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL INTERVALO DE OBSERVACIÓN

Numero de intervalo de observacion	Relacion
1	1.13
2	1.04
de 3-4	1.03
de 5-8	1.02
de 9-24	1.01

Nota: cuadro de hidrología para ingenieros Linsley, Kohler, Paulhus [20]

TABLA.28. DATOS DE PRECIPITACIÓN MAX 24H AJUSTADA A 1 INTERVALO DE OBSERVACIÓN

Precipitaciones Máximas 24H (mm) corregidas-Estación Letrayoc			
Año	PpMax 24H	PpMax 24H * 1.13	De mayor a menor
1999	14.13	15.97	15.97
2000	3.31	3.74	12.77
2001	2.70	3.05	8.84
2002	6.01	6.79	8.02
2003	1.90	2.15	7.01
2004	0.59	0.67	6.79
2005	3.50	3.96	5.88
2006	4.60	5.20	5.81
2007	0.80	0.90	5.31
2008	7.10	8.02	5.20
2009	4.70	5.31	4.41
2010	1.96	2.21	3.96
2011	3.40	3.84	3.84
2012	2.72	3.07	3.74
2013	7.82	8.84	3.07
2014	5.20	5.88	3.05
2015	6.20	7.01	2.21
2016	5.14	5.81	2.15
2017	11.30	12.77	0.90
2018	3.90	4.41	0.67

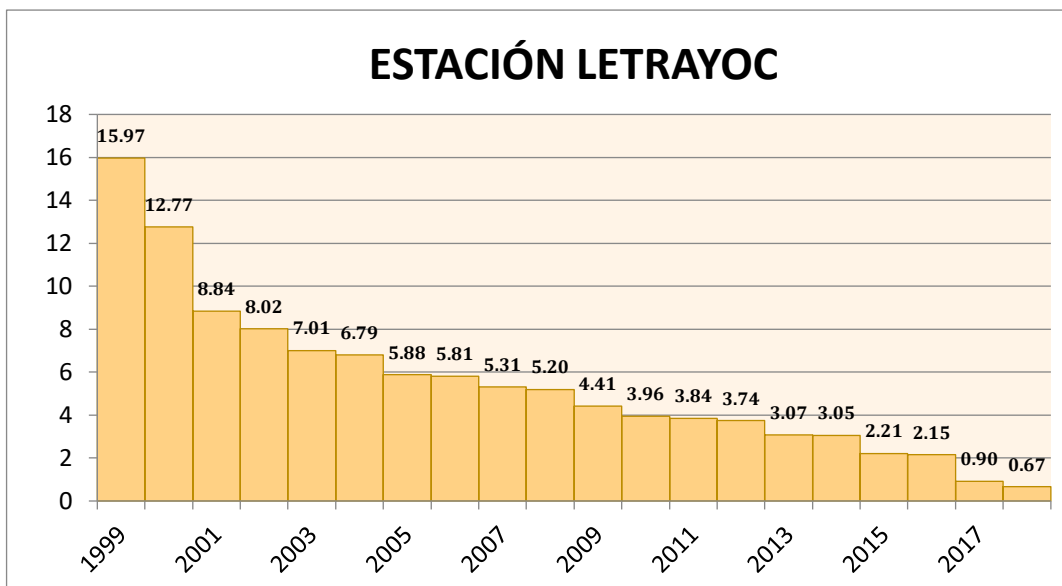


Fig.46. Hidrograma de forma descendente con las precipitaciones máximas 24h corregidas

2.4.6.7 Análisis estadístico y precipitaciones proyectadas

Según el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC [16], mediante el análisis de frecuencia estimamos las precipitaciones máximas 24hr proyectadas para diferentes periodos de retorno, para ello contamos con la ayuda de de la estadística mediante los modelos de distribución normal, Distribución Log Normal 2 Parámetros, Distribución Log Normal 3 Parámetros, Distribución Gumbel, Distribución Gamma.

1) Distribución Normal

TABLA.29. DATOS DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN NORMAL

AÑO	PpMax 24H * 1.13	De mayor a menor	F(x)	f(x)
1999	15.97	15.97	0.9972	0.0023
2000	3.74	12.77	0.9730	0.0165
2001	3.05	8.84	0.8125	0.0711
2002	6.79	8.02	0.7493	0.0841
2003	2.15	7.01	0.6567	0.0972
2004	0.67	6.79	0.6356	0.0993
2005	3.96	5.88	0.5417	0.1049
2006	5.20	5.81	0.5346	0.1050
2007	0.90	5.31	0.4823	0.1053
2008	8.02	5.20	0.4704	0.1051
2009	5.31	4.41	0.3884	0.1013
2010	2.21	3.96	0.3435	0.0972
2011	3.84	3.84	0.3326	0.0960
2012	3.07	3.74	0.3229	0.0949
2013	8.84	3.07	0.2624	0.0861
2014	5.88	3.05	0.2605	0.0858

2015	7.01	2.21	0.1941	0.0727
2016	5.81	2.15	0.1892	0.0715
2017	12.77	0.90	0.1133	0.0508
2018	4.41	0.67	0.1017	0.0470
MEDIA	5.48			
DESV.EST.	3.78			

2) Distribución Log Normal 2 Parámetros

TABLA.30. DATOS DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 2 PARÁMETROS

AÑO	PpMax 24H * 1.13	De mayor a menor	$y = \ln(x)$	F(x)	f(x)
1999	15.97	15.97	2.7705	0.9536	0.1241
2000	3.74	12.77	2.5470	0.9186	0.1926
2001	3.05	8.84	2.1789	0.8225	0.3324
2002	6.79	8.02	2.0823	0.7886	0.3698
2003	2.15	7.01	1.9468	0.7351	0.4186
2004	0.67	6.79	1.9156	0.7219	0.4288
2005	3.96	5.88	1.7709	0.6567	0.4701
2006	5.20	5.81	1.7593	0.6512	0.4728
2007	0.90	5.31	1.6698	0.6081	0.4911
2008	8.02	5.20	1.6483	0.5975	0.4947
2009	5.31	4.41	1.4832	0.5143	0.5096
2010	2.21	3.96	1.3750	0.4592	0.5073
2011	3.84	3.84	1.3460	0.4445	0.5050
2012	3.07	3.74	1.3192	0.4310	0.5023
2013	8.84	3.07	1.1228	0.3355	0.4659
2014	5.88	3.05	1.1155	0.3321	0.4641
2015	7.01	2.21	0.7952	0.1994	0.3572
2016	5.81	2.15	0.7641	0.1885	0.3452
2017	12.77	0.90	(0.1009)	0.0233	0.0705
2018	4.41	0.67	(0.4054)	0.0087	0.0301
MEDIA	5.5		1.4552		
DESV.EST.	3.8		0.7823		

3) Distribución Log Normal 3 Parámetros

TABLA.31. DATOS DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 3 PARÁMETROS

AÑO	PpMax 24H * 1.13	PPmax ordenados	$y = \ln(x-a)$	F(x)	f(x)
1999	15.97	16.0	2.87547	0.97831	0.10331
2000	3.74	12.8	2.67662	0.94780	0.21265
2001	3.05	8.8	2.36118	0.84023	0.48434

2002	6.79	8.0	2.28135	0.79852	0.56030
2003	2.15	7.0	2.17167	0.73164	0.65679
2004	0.67	6.8	2.14689	0.71513	0.67631
2005	3.96	5.9	2.03378	0.63422	0.74946
2006	5.20	5.8	2.02487	0.62752	0.75392
2007	0.90	5.3	1.95698	0.57536	0.78066
2008	8.02	5.2	1.94088	0.56276	0.78503
2009	5.31	4.4	1.82033	0.46723	0.79220
2010	2.21	4.0	1.74430	0.40760	0.77347
2011	3.84	3.8	1.72436	0.39225	0.76571
2012	3.07	3.7	1.70606	0.37831	0.75761
2013	8.84	3.1	1.57702	0.28534	0.67684
2014	5.88	3.1	1.57234	0.28219	0.67324
2015	7.01	2.2	1.38171	0.16949	0.50323
2016	5.81	2.1	1.36454	0.16099	0.48675
2017	12.77	0.9	0.98242	0.03991	0.17137
2018	4.41	0.7	0.88937	0.02636	0.12174
MEDIA	5.5		1.86161		
DESV. EST	3.8		0.50189		

4) Distribución Gumbel

TABLA.32. DATOS DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN GUMBEL

AÑO	PpMax 24H * 1.13	De mayor a menor	Var. Reducida $y = (x - u)/a$	Tr
1999	15.97	16.0	3.47	32.60
2000	3.74	12.8	2.57	13.58
2001	3.05	8.8	1.47	4.85
2002	6.79	8.0	1.24	3.97
2003	2.15	7.0	0.95	3.12
2004	0.67	6.8	0.89	2.97
2005	3.96	5.9	0.63	2.43
2006	5.20	5.8	0.62	2.40
2007	0.90	5.3	0.48	2.16
2008	8.02	5.2	0.44	2.11
2009	5.31	4.4	0.22	1.81
2010	2.21	4.0	0.09	1.67

2011	3.84	3.8	0.06	1.64
2012	3.07	3.7	0.03	1.61
2013	8.84	3.1	(0.15)	1.45
2014	5.88	3.1	(0.16)	1.45
2015	7.01	2.2	(0.39)	1.29
2016	5.81	2.1	(0.41)	1.28
2017	12.77	0.9	(0.76)	1.13
2018	4.41	0.7	(0.83)	1.11
PROMEDIO		5.479	0.523	
DESV.EST.		3.784	1.063	

5) Distribución Gamma

TABLA.33. DATOS DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN GAMMA

AÑO	PpMax 24H * 1.13	De mayor a menor	f(x)	F(x)
1999	15.97	15.97	0.006	0.982
2000	3.74	12.77	0.016	0.949
2001	3.05	8.84	0.047	0.835
2002	6.79	8.02	0.058	0.792
2003	2.15	7.01	0.074	0.725
2004	0.67	6.79	0.078	0.709
2005	3.96	5.88	0.094	0.631
2006	5.20	5.81	0.095	0.624
2007	0.90	5.31	0.104	0.574
2008	8.02	5.20	0.107	0.563
2009	5.31	4.41	0.120	0.473
2010	2.21	3.96	0.127	0.417
2011	3.84	3.84	0.128	0.402
2012	3.07	3.74	0.130	0.389
2013	8.84	3.07	0.135	0.301
2014	5.88	3.05	0.135	0.298
2015	7.01	2.21	0.131	0.185
2016	5.81	2.15	0.130	0.177
2017	12.77	0.90	0.081	0.039
2018	4.41	0.67	0.063	0.022
Xmedia		5.48		
Varianza		14.32		

El método elegido para comprobar la bondad de ajuste de los datos muestrales de precipitación máximas 24hr es la prueba Kolmogórov-Smirnov ya que permite elegir la que mejor se ajusta.

Tamaño de la Muestra (N)	NIVEL DE SIGNIFICACIÓN (α)			
	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
N>50	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Fig.47. Valores críticos del estadístico Smirnov Kolmogorov

DATOS	Empírica	Probabilidad de excedencia F(x)					Diferencia Delta D					
		Normal	LN2	LN3	Gumbel	Gamma	Normal	LN2	LN3	Gumbel	Gamma	
1	15.97	0.048	0.0028	0.046	0.022	0.031	0.018	0.04483	0.00127	0.02593	0.01695	0.02934
2	12.77	0.095	0.0270	0.081	0.052	0.074	0.051	0.06822	0.01382	0.04304	0.02160	0.04469
3	8.84	0.143	0.1875	0.177	0.160	0.206	0.165	0.04461	0.03461	0.01691	0.06328	0.02202
4	8.02	0.190	0.2507	0.211	0.201	0.252	0.208	0.06023	0.02091	0.01101	0.06135	0.01722
5	7.01	0.238	0.3433	0.265	0.268	0.320	0.275	0.10520	0.02679	0.03026	0.08216	0.03661
6	6.79	0.286	0.3644	0.278	0.285	0.336	0.291	0.07868	0.00764	0.00084	0.05066	0.00526
7	5.88	0.333	0.4583	0.343	0.366	0.412	0.369	0.12492	0.00995	0.03245	0.07821	0.03611
8	5.81	0.381	0.4654	0.349	0.372	0.418	0.376	0.08442	0.03220	0.00847	0.03656	0.00509
9	5.31	0.429	0.5177	0.392	0.425	0.463	0.426	0.08918	0.03664	0.00393	0.03426	0.00305
10	5.20	0.476	0.5296	0.403	0.437	0.473	0.437	0.05345	0.07366	0.03895	0.00270	0.03875
11	4.41	0.524	0.6116	0.486	0.533	0.551	0.527	0.08776	0.03808	0.00896	0.02735	0.00347
12	3.96	0.571	0.6565	0.541	0.592	0.597	0.583	0.08505	0.03059	0.02097	0.02586	0.01180
13	3.84	0.619	0.6674	0.556	0.608	0.609	0.598	0.04835	0.06354	0.01129	0.01012	0.02139
14	3.74	0.667	0.6771	0.569	0.622	0.619	0.611	0.01044	0.09765	0.04497	0.04724	0.05587
15	3.07	0.714	0.7376	0.665	0.715	0.688	0.699	0.02327	0.04977	0.00037	0.02620	0.01496
16	3.05	0.762	0.7395	0.668	0.718	0.690	0.702	0.02241	0.09396	0.04409	0.07151	0.05952
17	2.21	0.810	0.8059	0.801	0.831	0.773	0.815	0.00365	0.00895	0.02099	0.03651	0.00508
18	2.15	0.857	0.8108	0.811	0.839	0.779	0.823	0.04638	0.04565	0.01813	0.07775	0.03370
19	0.90	0.905	0.8867	0.977	0.960	0.883	0.961	0.01805	0.07189	0.05533	0.02208	0.05613
20	0.67	0.952	0.8983	0.991	0.974	0.899	0.978	0.05408	0.03892	0.02126	0.05359	0.02569
								0.12492	0.09765	0.05533	0.08216	0.05952
								Aceptada	Aceptada	Aceptada	Aceptada	Aceptada
								0.0648				

Fig.48. Prueba de bondad de ajuste

Como todos los modelos son aceptados escogemos para datos extremos trabajar con la distribución de probabilidad de Log Normal 3 parámetros. Siendo esta la más utilizada para datos extremos.

Proyección de precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 5, 10, 25, 50, 100, 140, 200, 500 años.

TABLA.34. PRECIPITACIONES MAXIMAS PROYECTADAS PARA DIFERENTES TR

ESTACION	DISTRIBUCION PROBABILISTICA	PERIODO DE RETORNO(RT) años								
		5	10	25	50	100	140	175	200	500
LETRAYOC	LOG NORMAL 3 PARAMETROS(mm)	8.049	10.474	13.724	16.269	18.913	20.237	21.131	21.672	25.512
	Probabilidad de excedencia	0.200	0.100	0.040	0.020	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000
	Probabilidad de no excedencia	0.800	0.900	0.960	0.980	0.990	0.990	0.990	1.000	1.000

Nota:Elaboracion propia

2.4.6.8 Tormenta de diseño

Con las precipitaciones máximas corregidas y proyectadas para un periodo de retorno, prosigo a obtener la intensidad, duración y frecuencia de la tormenta. Donde la intensidad es la cantidad de agua caída por un tiempo se mide por profundidad por unidad de tiempo (mm/hr) [20], en cada tormenta de diseño nos importa la intensidad máxima, en otras palabras, nos interesa la altura máxima caída de agua por unidad de tiempo. A menor periodo de duración mayor intensidad por unidad de tiempo.

$$i_m = \frac{P}{t}$$

Donde: i_m : intensidad maxima en mm/hr

P : precipitacion en altura de agua mm

t : tiempo en horas

Y la duración es el tiempo que pasa desde el comienzo de la tormenta hasta el termino, se puede medir en horas o minutos. La frecuencia usualmente se expresa en función del periodo de retorno T, en donde los eventos de precipitaciones igualan o exceden la magnitud de diseño. [20].

2.4.6.8.1 Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia

Mediante la metodología de Dick Peschke y Con las precipitaciones proyectadas para distintos periodos de retorno, se obtiene las precipitaciones máximas de duración en minutos, mediante la siguiente formula:

$$P_D = P_{24h} \times \left(\frac{D}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

P_D = Precipitacion maxima de duracion, en mm

P_{24h} = Precipitación máxima 24h, mm

D= Duración de la precipitación, en minutos

TABLA.35. PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE DURACIÓN (MM)

LLUVIAS MÁXIMAS (mm)									
ESTACIÓN LETRAYOC									
Latitud :		-13.65		Depart.		Ica			
Longitud :		-75.716667		Provincia		Pisco			
Altitud :		720		Distrito		Huancano			
AÑO	P.Máx.24h. (mm)	DURACION EN MINUTOS							
		5	10	30	60	120	150	200	220
1999	15.97	3.9	4.6	6.1	7.2	8.6	9.1	9.7	10.0
2000	3.74	0.9	1.1	1.4	1.7	2.0	2.1	2.3	2.3
2001	3.05	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	1.9
2002	6.79	1.6	2.0	2.6	3.1	3.6	3.9	4.1	4.2
2003	2.15	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.2	1.3	1.3
2004	0.67	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
2005	3.96	1.0	1.1	1.5	1.8	2.1	2.2	2.4	2.5
2006	5.20	1.3	1.5	2.0	2.3	2.8	3.0	3.2	3.2
2007	0.90	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
2008	8.02	1.9	2.3	3.0	3.6	4.3	4.6	4.9	5.0
2009	5.31	1.3	1.5	2.0	2.4	2.9	3.0	3.2	3.3
2010	2.21	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4	1.4
2011	3.84	0.9	1.1	1.5	1.7	2.1	2.2	2.3	2.4
2012	3.07	0.7	0.9	1.2	1.4	1.7	1.7	1.9	1.9
2013	8.84	2.1	2.6	3.4	4.0	4.7	5.0	5.4	5.5
2014	5.88	1.4	1.7	2.2	2.7	3.2	3.3	3.6	3.7
2015	7.01	1.7	2.0	2.7	3.2	3.8	4.0	4.3	4.4
2016	5.81	1.4	1.7	2.2	2.6	3.1	3.3	3.5	3.6
2017	12.77	3.1	3.7	4.9	5.8	6.9	7.3	7.8	8.0
2018	4.41	1.1	1.3	1.7	2.0	2.4	2.5	2.7	2.8
Prom	5.5	1.3	1.6	2.1	2.5	2.9	3.1	3.3	3.4
Desv. Est	3.8	0.9	1.1	1.4	1.7	2.0	2.1	2.3	2.4

TABLA.36. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

METODOLOGIA DICK PESCHKE									
DURACION(Minutos)	Precipitación Max en 24 horas proyectada (mm)								
	8.049	10.474	13.724	16.269	18.913	20.237	21.131	21.672	25.512
	Periodo de retorno (años)								
	5	10	25	50	100	140	175	200	500
Precipitación (mm)									
5	1.954	2.543	3.331	3.949	4.591	4.912	5.129	5.261	6.193
10	2.324	3.024	3.962	4.696	5.460	5.842	6.100	6.256	7.365
15	2.571	3.346	4.384	5.197	6.042	6.465	6.751	6.923	8.150
20	2.763	3.596	4.711	5.585	6.493	6.947	7.254	7.440	8.758
25	2.922	3.802	4.982	5.905	6.865	7.346	7.670	7.867	9.261
30	3.058	3.979	5.214	6.181	7.185	7.688	8.028	8.233	9.692
35	3.178	4.136	5.419	6.424	7.468	7.991	8.343	8.557	10.073

40	3.286	4.276	5.603	6.642	7.721	8.262	8.627	8.847	10.415
45	3.384	4.404	5.770	6.840	7.952	8.509	8.884	9.112	10.726
50	3.475	4.521	5.924	7.023	8.164	8.736	9.121	9.355	11.013
55	3.558	4.630	6.067	7.192	8.361	8.946	9.341	9.581	11.278
60	3.637	4.732	6.201	7.350	8.545	9.143	9.547	9.791	11.526
120	4.325	5.628	7.374	8.741	10.162	10.873	11.353	11.644	13.707
150	4.573	5.950	7.797	9.242	10.745	11.497	12.005	12.312	14.494
180	4.786	6.228	8.160	9.673	11.246	12.033	12.564	12.886	15.170
210	4.974	6.473	8.481	10.054	11.688	12.506	13.058	13.392	15.766

El valor de la intensidad de lluvia la generamos al dividir las precipitaciones máximas de duración obtenida en la tabla N°45, entre la duración en horas, ya que la medida de intensidad es mm/hr.

$$I = \frac{PD}{D}$$

Donde:

PD: Precipitación máxima de duración, en mm

D: Duración de la precipitación en horas

TABLA.37. INTENSIDADES SEGÚN DURACIÓN

INTENSIDADES (mm/h)									
ESTACIÓN LETRAYOC									
Latitud :		-13.65			Depart :		Ica		
Longitud :		-75.716667			Provincia :		Pisco		
Altitud :		720			Distrito :		Huancano		
AÑO	P.Máx.24h.	DURACION EN MINUTOS							
		5	10	30	60	120	150	200	220
1999	15.97	46.50	27.66	12.13	7.21	4.29	3.63	2.92	2.72
2000	3.74	10.89	6.48	2.84	1.69	1.00	0.85	0.69	0.64
2001	3.05	8.89	5.28	2.32	1.38	0.82	0.69	0.56	0.52
2002	6.79	19.78	11.76	5.16	3.07	1.82	1.54	1.24	1.16
2003	2.15	6.25	3.72	1.63	0.97	0.58	0.49	0.39	0.37
2004	0.67	1.94	1.15	0.51	0.30	0.18	0.15	0.12	0.11
2005	3.96	11.52	6.85	3.01	1.79	1.06	0.90	0.72	0.67
2006	5.20	15.14	9.00	3.95	2.35	1.40	1.18	0.95	0.89
2007	0.90	2.63	1.57	0.69	0.41	0.24	0.21	0.17	0.15
2008	8.02	23.37	13.90	6.10	3.62	2.16	1.82	1.47	1.37
2009	5.31	15.47	9.20	4.04	2.40	1.43	1.21	0.97	0.91
2010	2.21	6.45	3.84	1.68	1.00	0.60	0.50	0.41	0.38
2011	3.84	11.19	6.66	2.92	1.74	1.03	0.87	0.70	0.66
2012	3.07	8.95	5.32	2.34	1.39	0.83	0.70	0.56	0.52
2013	8.84	25.74	15.31	6.71	3.99	2.37	2.01	1.62	1.51
2014	5.88	17.11	10.18	4.46	2.65	1.58	1.34	1.08	1.00
2015	7.01	20.40	12.14	5.32	3.17	1.88	1.59	1.28	1.19

2016	5.81	16.92	10.06	4.41	2.62	1.56	1.32	1.06	0.99
2017	12.77	37.19	22.12	9.70	5.77	3.43	2.90	2.34	2.18
2018	4.41	12.83	7.63	3.35	1.99	1.18	1.00	0.81	0.75
Prom	5.5	16.0	9.5	4.2	2.5	1.5	1.2	1.0	0.9
Desv. Est	3.8	11.0	6.6	2.9	1.7	1.0	0.9	0.7	0.6

TABLA.38. INTENSIDADES PROYECTADAS SEGÚN PERIODO DE RETORNO

INTENSIDADES (mm/hr)

Duracion (horas)	Duracion (minutos)	Periodo de retorno (años)								
		5	10	25	50	100	140	175	200	500
		Intensidades (mm/hr)								
0.083	5	23.446	30.511	39.977	47.390	55.093	58.950	61.553	63.128	74.315
0.167	10	13.941	18.142	23.771	28.178	32.758	35.052	36.599	37.536	44.188
0.250	15	10.286	13.385	17.538	20.790	24.169	25.861	27.003	27.694	32.601
0.333	20	8.290	10.787	14.134	16.755	19.478	20.842	21.762	22.319	26.274
0.417	25	7.012	9.125	11.956	14.173	16.477	17.630	18.409	18.880	22.225
0.500	30	6.116	7.959	10.428	12.362	14.371	15.377	16.056	16.467	19.385
0.583	35	5.448	7.090	9.289	11.012	12.802	13.698	14.303	14.669	17.269
0.667	40	4.929	6.414	8.404	9.963	11.582	12.393	12.940	13.271	15.623
0.750	45	4.512	5.872	7.694	9.120	10.603	11.345	11.846	12.149	14.302
0.833	50	4.169	5.426	7.109	8.427	9.797	10.483	10.946	11.226	13.215
0.917	55	3.882	5.051	6.619	7.846	9.121	9.760	10.191	10.452	12.304
1.000	60	3.637	4.732	6.201	7.350	8.545	9.143	9.547	9.791	11.526
2.000	120	2.162	2.814	3.687	4.370	5.081	5.437	5.677	5.822	6.854
2.500	150	1.829	2.380	3.119	3.697	4.298	4.599	4.802	4.925	5.797
3.000	180	1.595	2.076	2.720	3.224	3.749	4.011	4.188	4.295	5.057
3.500	210	1.421	1.849	2.423	2.872	3.339	3.573	3.731	3.826	4.504

Transposición de intensidades (mm/hr)

$$I_2 = I_1 \times \frac{(H_{media})}{H_1}$$

DONDE:

I₂ : Intensidad de la cuenca de estudio

H_{media} : De la cuenca de estudio

I₁ : Intensidad de la est. con información.

H₁ : Alt. de la est. con información

TABLA.39. TABLA DE INTENSIDADES TRANSPUESTAS PARA TR (MM/HR)

INTENSIDADES TRANSPUESTAS PROYECTADAS (mm/hr)

Duracion (horas)	Duracion (minutos)	Periodo de retorno (años)								
		5	10	25	50	100	140	175	200	500
		Intensidades transpuestas (mm/hr)								
0.083	5	62.888	81.837	107.228	127.111	147.771	158.116	165.098	169.324	199.330
0.167	10	37.394	48.660	63.758	75.581	87.865	94.017	98.168	100.681	118.522
0.250	15	27.589	35.901	47.040	55.763	64.826	69.364	72.427	74.281	87.444
0.333	20	22.234	28.934	37.911	44.941	52.245	55.903	58.371	59.865	70.474
0.417	25	18.808	24.475	32.069	38.015	44.194	47.288	49.376	50.640	59.614
0.500	30	16.404	21.347	27.970	33.157	38.546	41.244	43.065	44.168	51.995
0.583	35	14.613	19.016	24.916	29.537	34.337	36.741	38.364	39.345	46.318
0.667	40	13.221	17.204	22.542	26.722	31.065	33.240	34.708	35.596	41.904
0.750	45	12.103	15.749	20.636	24.463	28.439	30.429	31.773	32.586	38.361
0.833	50	11.183	14.553	19.068	22.604	26.278	28.117	29.359	30.111	35.446
0.917	55	10.412	13.549	17.753	21.045	24.465	26.178	27.334	28.033	33.001
1.000	60	9.754	12.693	16.631	19.715	22.919	24.524	25.607	26.262	30.916
2.000	120	5.800	7.547	9.889	11.723	13.628	14.582	15.226	15.616	18.383
2.500	150	4.906	6.384	8.365	9.916	11.528	12.335	12.880	13.209	15.550
3.000	180	4.279	5.568	7.296	8.649	10.055	10.758	11.234	11.521	13.563
3.500	210	3.812	4.960	6.499	7.705	8.957	9.584	10.007	10.263	12.082

Una vez obtenida las intensidades, duración y frecuencia se puede decir que para el Sector San Ignacio II se presenta una tormenta de intensidad (mm/hr) con una duración (min) cada T (años). todos los datos obtenidos en la tabla N°46, se aprecia en la curva I-D-F donde nos ayuda a determinar las intensidades para el Sector San Ignacio II, para 210 minutos o cualquier otro periodo de referencia que se presente. Con una frecuencia de cualquier Tr que se muestra.

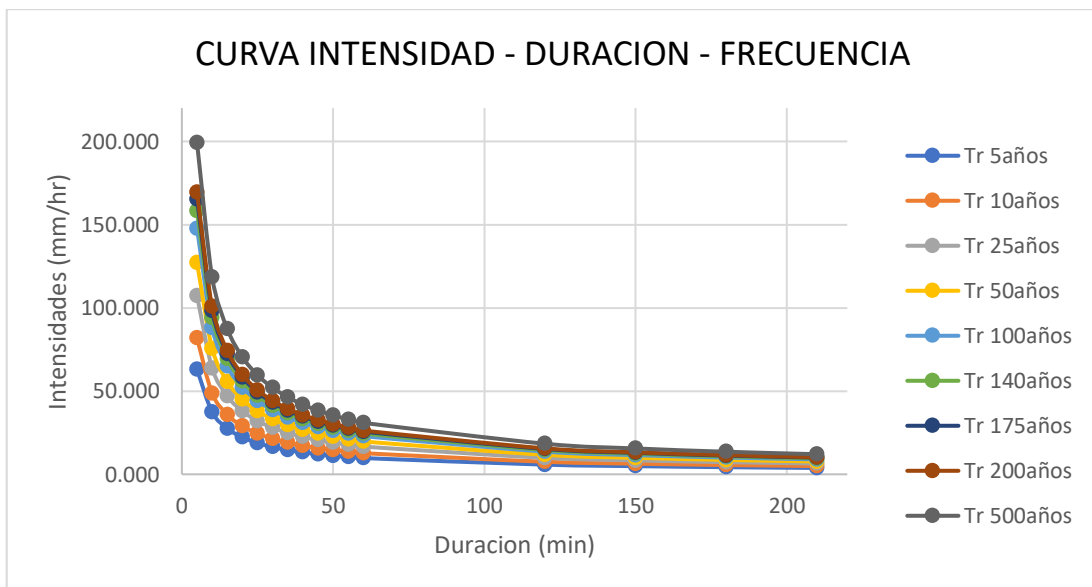


Fig.49. curva I-D-F

Mediante el análisis de regresión múltiple se calculó los parámetros: K, m, n de la siguiente relación I-D-F:

$$I_{max} = \frac{K \times T^m}{D^n}$$

Donde:

Imax= intensidad maxima

T= periodo de retorno

D= duracion,minutos

K,m,n= factores de la zona de estudio

En la siguiente tabla tenemos los valores de los factores de la zona de estudio con la ecuación I-D-F

TABLA.40. VALORES DE LOS FACTORES DE LA ZONA DE ESTUDIO Y ECUACIÓN I-D-F

ESTACION	Factores de la zona de estudio		
	K	m	n
Letrayoc	153.0069	0.2481	0.7500
Ecuacion	$I = \frac{153.0069 \times T^{0.2481}}{D^{0.75}}$		

Elaboracion propia

2.4.6.8.2 Hietograma de Diseño

El hietograma de diseño nos ayuda a conocer la evolución de la lluvia(mm) a lo largo de una duración(hrs). Obtenemos el hietograma por el método del bloque alterno, ya que contamos con información de la curva IDF, ya que esta curva nos muestra una distribución temporal de la tormenta.[20]

En la tabla N°41 se aprecia los resultados del hietograma y en la figura N° 50 se aprecia la evolución de la precipitación para un periodo de retorno de 140años.

TABLA.41. RESULTADOS DE PRECIPITACIÓN TR 140AÑOS – ESTACIÓN LETRAYOC

METODO DE BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD Max	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION TOTAL
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
10	92.718	15.453	15.453	0-10	0.619
20	55.131	18.377	2.924	10-20	0.714
30	40.675	20.337	1.960	20-30	0.853
40	32.781	21.854	1.517	30-40	1.078

50	27.729	23.108	1.254	40-50	1.517
60	24.185	24.185	1.078	50-60	2.924
70	21.545	25.136	0.950	60-70	15.453
80	19.492	25.989	0.853	70-80	1.960
90	17.844	26.765	0.777	80-90	1.254
100	16.488	27.480	0.714	90-100	0.950
110	15.350	28.142	0.663	100-110	0.777
120	14.381	28.761	0.619	110-120	0.663

Elaboracion propia

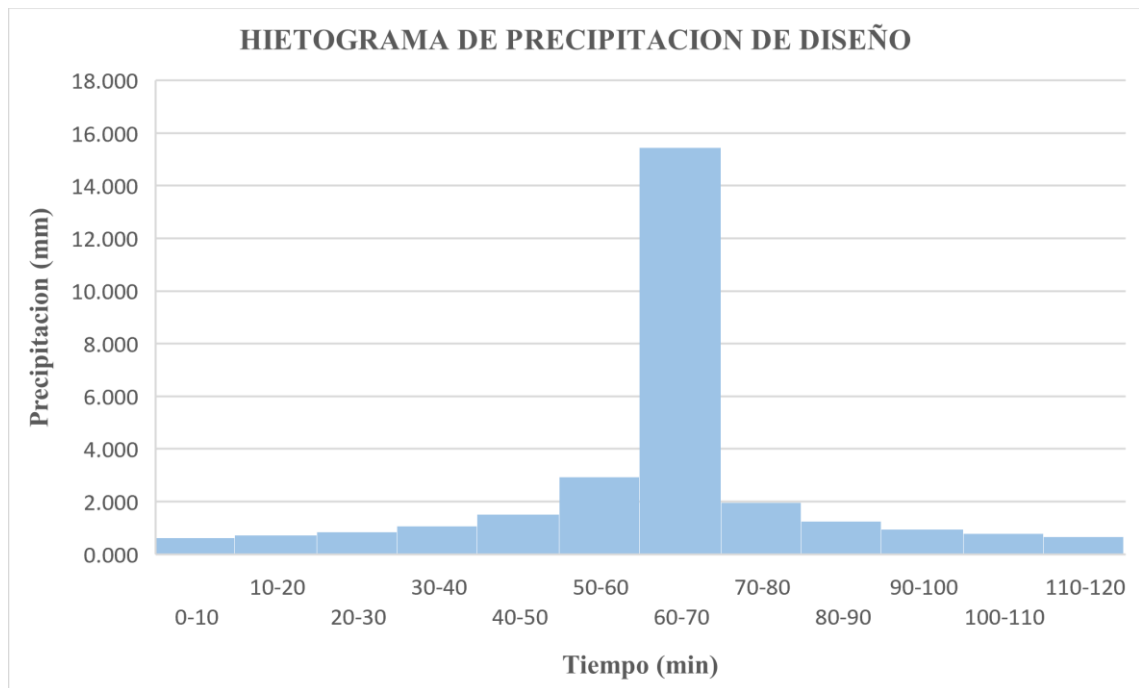


Fig.50. Hietograma de precipitación TR 140 años

TABLA.42. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO(MM)

HIETOGRAMA MODELO DICK-PESCHKE										
horas	DURACION (min)	Tr=5 años	Tr=10 años	Tr=25años	Tr=50 años	Tr=100 años	Tr=140 años	Tr=175 años	Tr=200 años	Tr=500 años
0.1667	10	0.271	0.322	0.404	0.479	0.569	0.619	0.610	0.676	0.849
0.3333	20	0.313	0.371	0.466	0.553	0.657	0.714	0.874	0.780	0.980
0.5000	30	0.373	0.443	0.556	0.661	0.785	0.853	1.803	0.932	1.170
0.6667	40	0.471	0.560	0.703	0.835	0.991	1.078	2.690	1.177	1.478
0.8333	50	0.663	0.788	0.989	1.175	1.395	1.517	0.991	1.657	2.080
1.0000	60	1.279	1.519	1.907	2.265	2.690	2.924	0.657	3.194	4.010
1.1667	70	6.760	8.029	10.078	11.969	14.215	15.453	0.569	16.883	21.192
1.3333	80	0.858	1.019	1.279	1.519	1.803	1.960	0.785	2.142	2.689

1.5000	90	0.549	0.651	0.818	0.971	1.153	1.254	1.395	1.370	1.719
1.6667	100	0.416	0.494	0.620	0.736	0.874	0.950	14.215	1.038	1.303
1.8333	110	0.340	0.404	0.507	0.602	0.714	0.777	1.153	0.848	1.065
2.0000	120	0.290	0.344	0.432	0.513	0.610	0.663	0.714	0.724	0.909

Nota: Elaboracion propia

2.5 Alternativas propuestas

2.5.1 Criterios Generales

Una vez realizado el análisis hidrológico multivariado aplicando el método de los hidrogramas con HEC HMS y conociendo las condiciones en el sector San Ignacio II –Humay –Pisco, tenemos que tener en cuenta que para ejecutar las obras en los ríos requieren grandes inversiones y son de suma importancia para la seguridad de los habitantes de la localidad, como en este estudio es para el sector San Ignacio II –Humay –Pisco.

El sentido económico de las obras hidráulicas contra inundación es que la obra de protección o defensas ribereñas compense con la inversión realizada, evitando el daño que pueda ocasionarse por alguna inundación o desbordamientos del río. Cabe destacar la seguridad que brinde el sistema de defensa ribereña a la localidad, por ello se debe evaluar las consecuencias al transcurrir el tiempo después de la intervención. Por esta razón las defensas ribereñas deben ser resistentes y de larga vida útil.

Como medida de protección e intervención en el sector San Ignacio II podemos establecer la siguiente propuesta.

2.5.2 Presentación de alternativas propuestas

2.5.2.1 Gaviones

- Gaviones caja. -Los gaviones caja son elementos en forma de prisma rectangular, son utilizadas para la construcción de estructuras de protecciones, defensa y contención de márgenes. Funcionan por gravedad y su comportamiento técnico – funcional es excelente al permitir la construcción de estructuras monolíticas, flexibles, permeables, resistentes y de larga vida útil. [9]
- Gaviones saco. - Son usados cuando la fundación será construida en agua, son elementos de forma cilíndrica, producidos en malla de doble tensión. debido al método de construcción ya que no requiere ataguías o desvíos y son colocados con facilidad por eso son versátiles.
- Colchones reno. - Son utilizados con gran eficacia para revestir márgenes y diques longitudinales, son ideales cuando se desee integrar rápidamente la obra con el medio ambiente

TABLA.43. Características de gaviones

Permeabilidad: son estructuras altamente permeables por lo que están formadas por piedras y mallas, esto sirve de impedimento a que se generen presiones hidrostáticas
Economía: Los gaviones son fáciles de armar, esto hace que no requieran mano de obra especializada, logrando altos rendimientos en la instalación. Las piedras de relleno pueden ser extraídas del mismo lugar donde se efectúa la instalación
Flexibilidad: Los gaviones pueden deformarse con facilidad al ser sometidos a presiones gracias a su flexibilidad, soportan movimientos sin pérdida de eficiencia
Versatilidad: Por la naturaleza de los materiales que se emplean en la fabricación de los gaviones, éstos permiten que su construcción sea sencilla en cualquier condición climática, ya sea en presencia de agua o en lugares de difícil acceso

Nota: la presente información es obtenida de Zevallos, M [4]

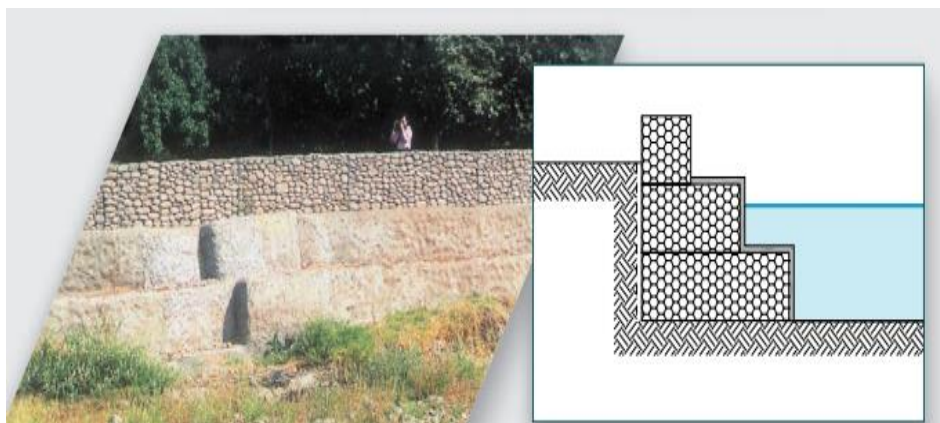


Fig.51. Gaviones [9]

2.5.2.2 Espigones

- **Espigones.** – Los espigones desvían el flujo principal de la corriente del curso de agua centralizándolo, evitando que la fuerza del agua alcance las márgenes del río, por ello son usados para proteger y recuperar orillas erosionadas, también se utilizan en conjunto para crear entre ellos zonas de remanso y consecuentemente de remanso y consecuentemente de sedimentación del material en suspensión. Las características hidráulicas del río y la finalidad de la intervención son claves para la determinación de su forma y geometría de los espigones. [9].

Tipos de espigones

Espigones permeables: permiten el paso del agua a través de ellos, son más efectivos en los ríos que tienen mayor cantidad de carga de fondo y altas concentraciones de sedimentos. [4]

Espigones impermeables: como su mismo nombre lo dice, son espigones que no permiten el paso del agua a través de ellos, son más efectivos cuando se requiere mantener una profundidad

de cauce para navegación, debido a que la socavación es mayor y por lo tanto el cauce va a tener una mayor profundidad.



Fig.52. Espigones [9]

Los espigones pueden ser de diferentes formas, como se aprecia en la figura 53

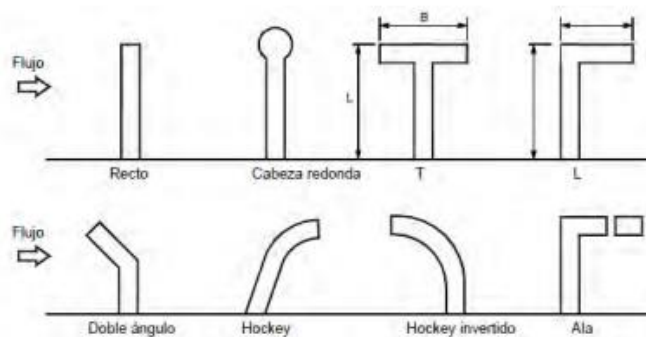


Fig.53. Vista en planta de espigones [4]

2.5.2.3 Enrocados

El enrocado se basa en bloques o cantos de roca de distintos tamaños con formas irregulares colocados sobre el talud a lo largo de la orilla de una corriente como se aprecia en la Figura 54.

La estabilidad del enrocado se da por el mismo peso de los bloques individuales y el entrelace entre ellos. Esta propuesta viene a hacer utilizada cuando hay disponibilidad de rocas en zonas aledañas al área de estudio y se utilizan rocas con formas de bloques.

Para una buena estabilidad del enrocado se debe tener en cuenta estos factores: dirección de la corriente principal en relación con el plano del enrocado, velocidad del flujo tangencial, ángulo del talud del enrocado y las características de la roca. [4]

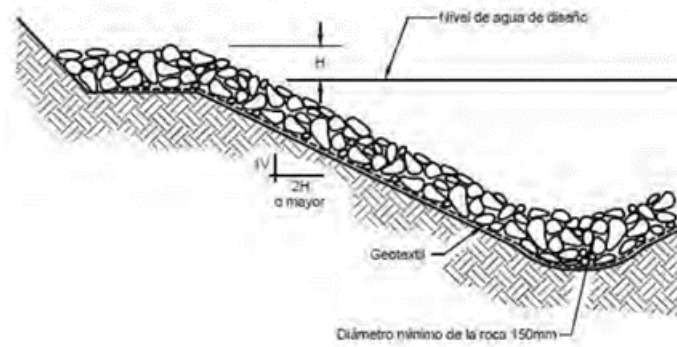


Fig.54. Enrocado [4]

Tipos de colocado del Enrocado: Enrocados con roca al volteo y Enrocado con roca colocada. La primera son estructuras revestidas con roca pesada al volteo o colocada directamente. Su talud de acabado no es muy estable, las ventajas son:

La capa de enrocado es flexible, no se debilita o se ve perjudicada por movimientos menores de los márgenes del río, los daños pueden ser reparados colocando más roca y el proceso constructivo no es complicado. [4]

El Enrocado con roca colocada es cuando la roca es colocada con la ayuda de un cargador frontal, excavadora o pala mecánica, en la uña y cara húmeda del terraplén. el talud que se logra es estable. Las ventajas son: La superficie trabajada presenta un aspecto liso y reduce la turbulencia de flujo en el agua. El espesor del enrocado colocado manualmente, es usualmente menor que un revestimiento suelto, resultando un uso de menor cantidad de piedras y tiene una mejor facilidad al drenaje. [4]

III. RESULTADOS

3.1 Aplicación del *HEC HMS* con los datos obtenidos

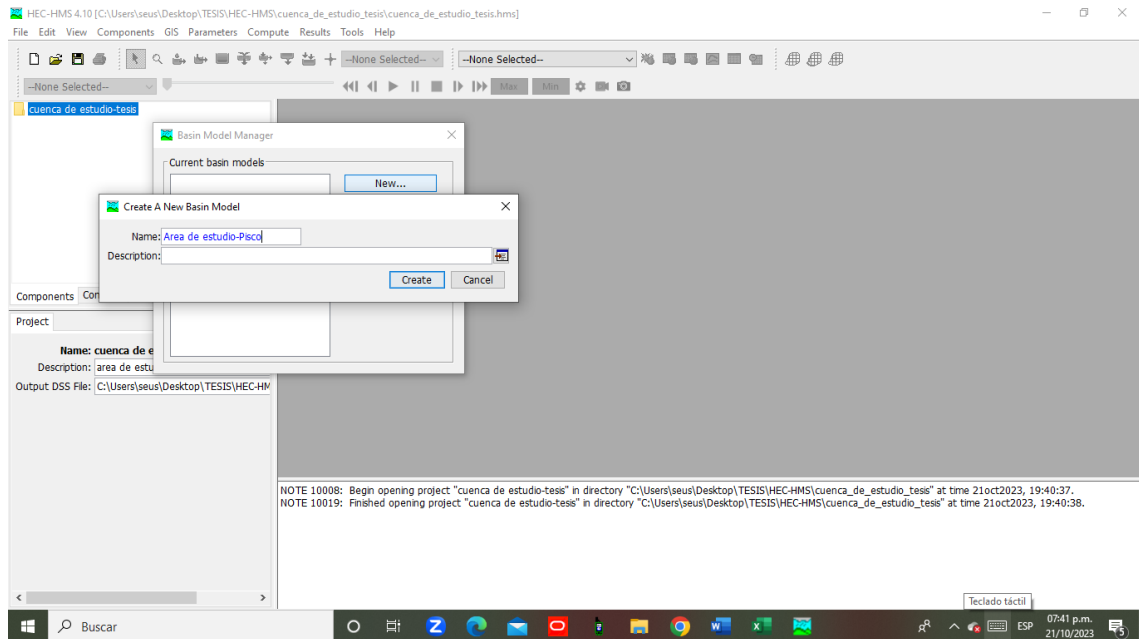


Fig.55. Creamos un nuevo proyecto con el nombre de área de estudio Pisco

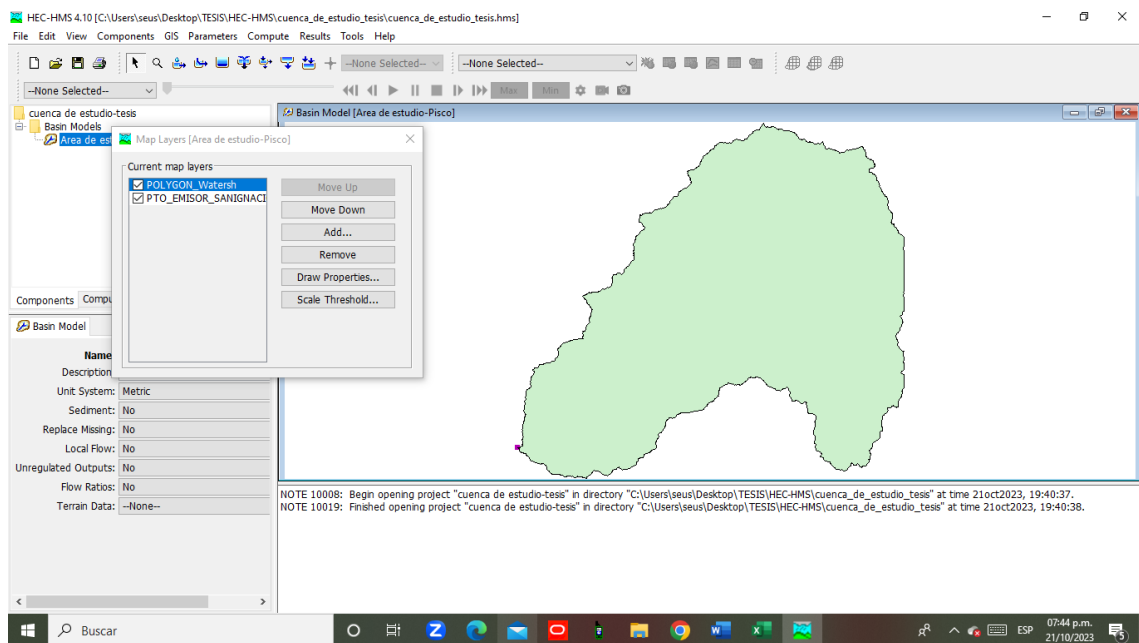


Fig.56. Importamos el área de la cuenca con el punto emisor en San Ignacio II

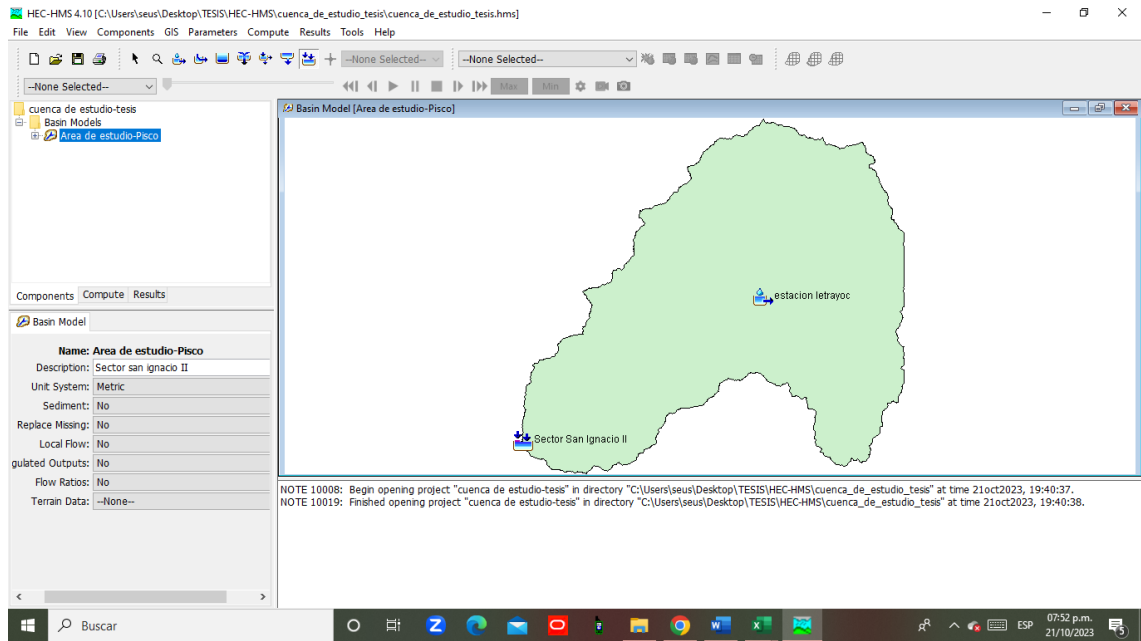


Fig.57. Colocamos una subcuenca que le llamamos estación Letrayoc y un punto de aforo en el punto emisor San Ignacio II

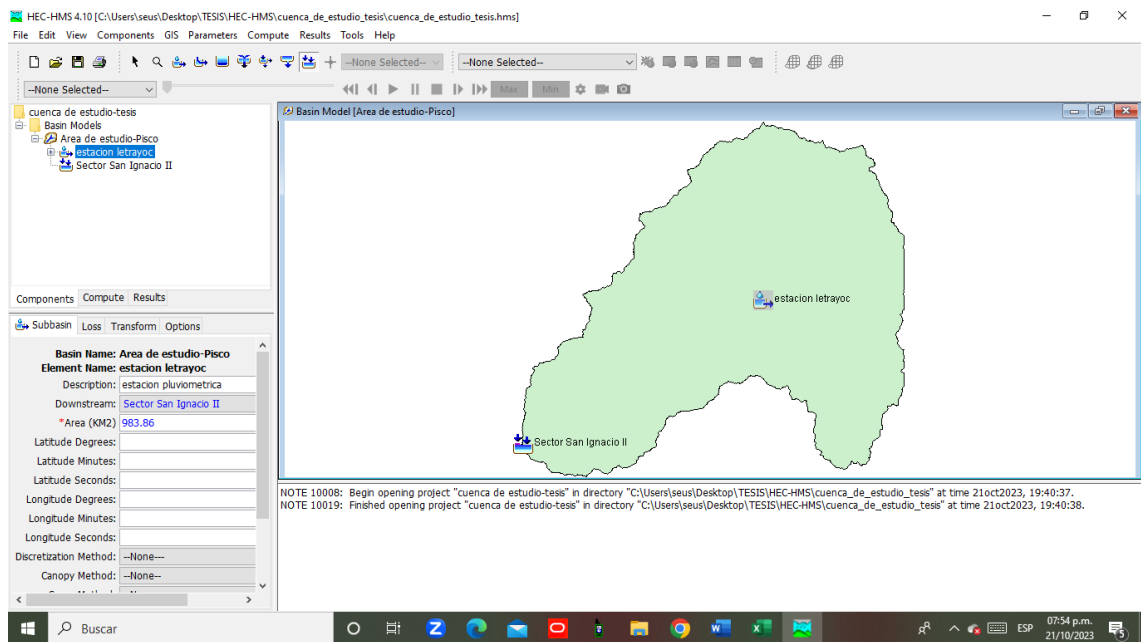


Fig.58. Agregamos el área de estudio en km2

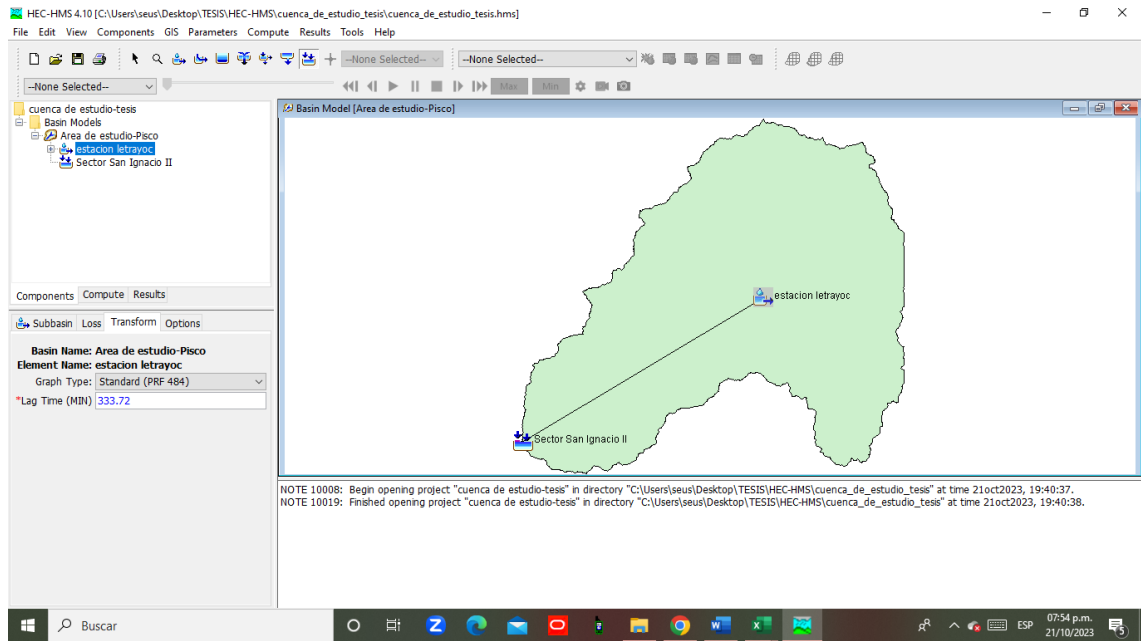


Fig.59. Se introdujo como dato el lag time que es el 60% del tiempo de concentración

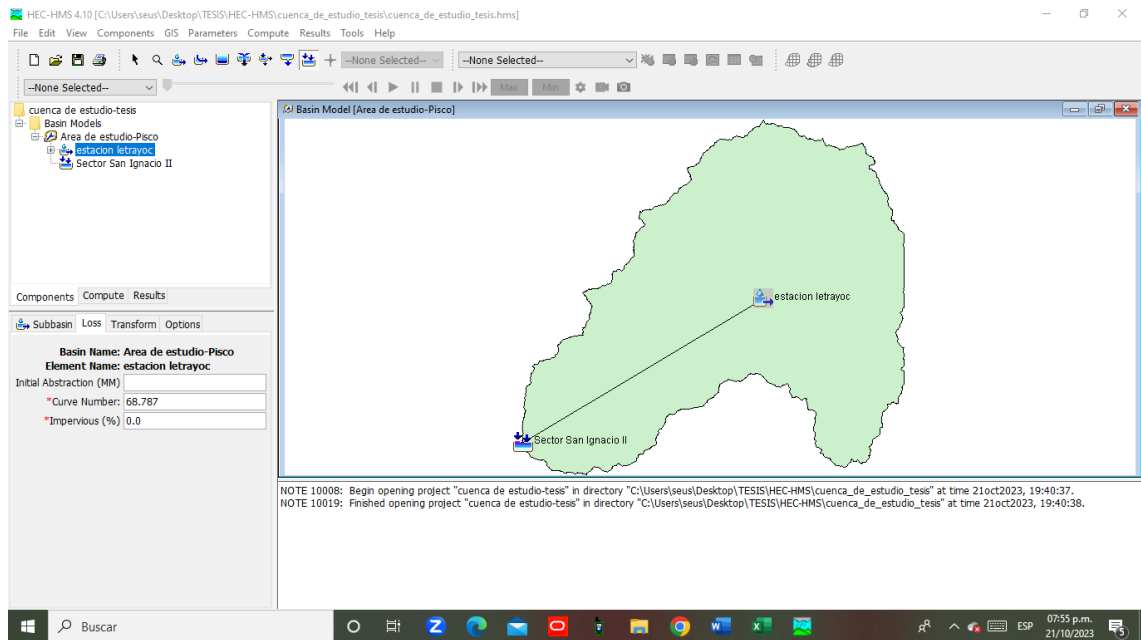


Fig.60. El método de pérdida utilizado es el SCS, en la imagen se aprecia el numero curva ingresado.

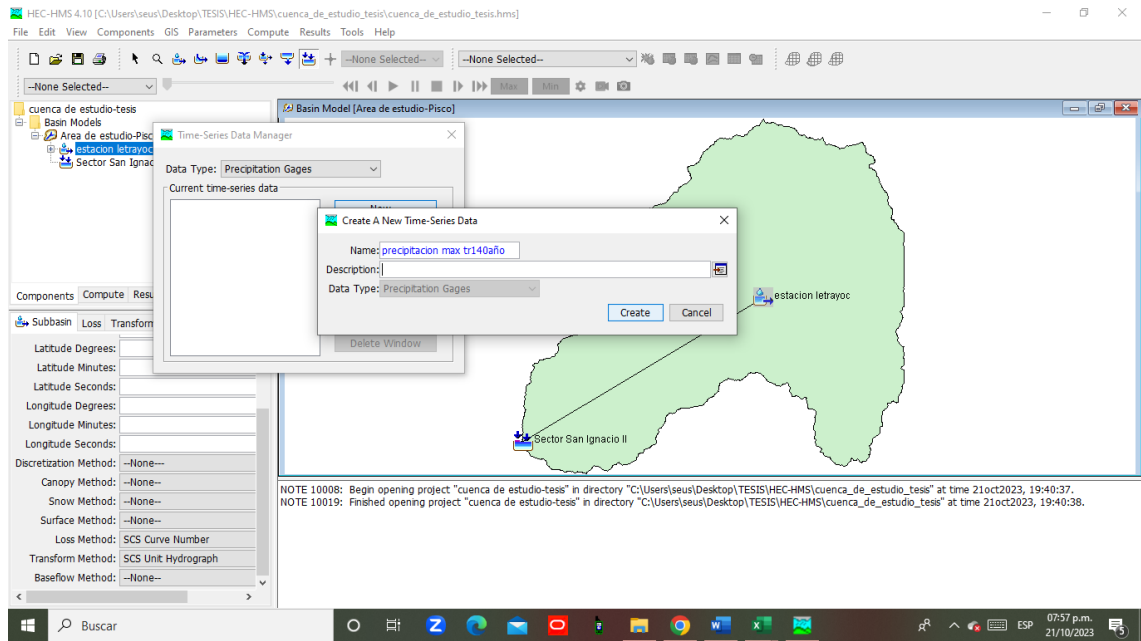


Fig.61. Para la transformación lluvia -escorrentía utilizamos el método de los hidrogramas unitarios SCS. en la imagen se observa cuando se crea la serie de datos para una precipitación máxima para TR 140 años

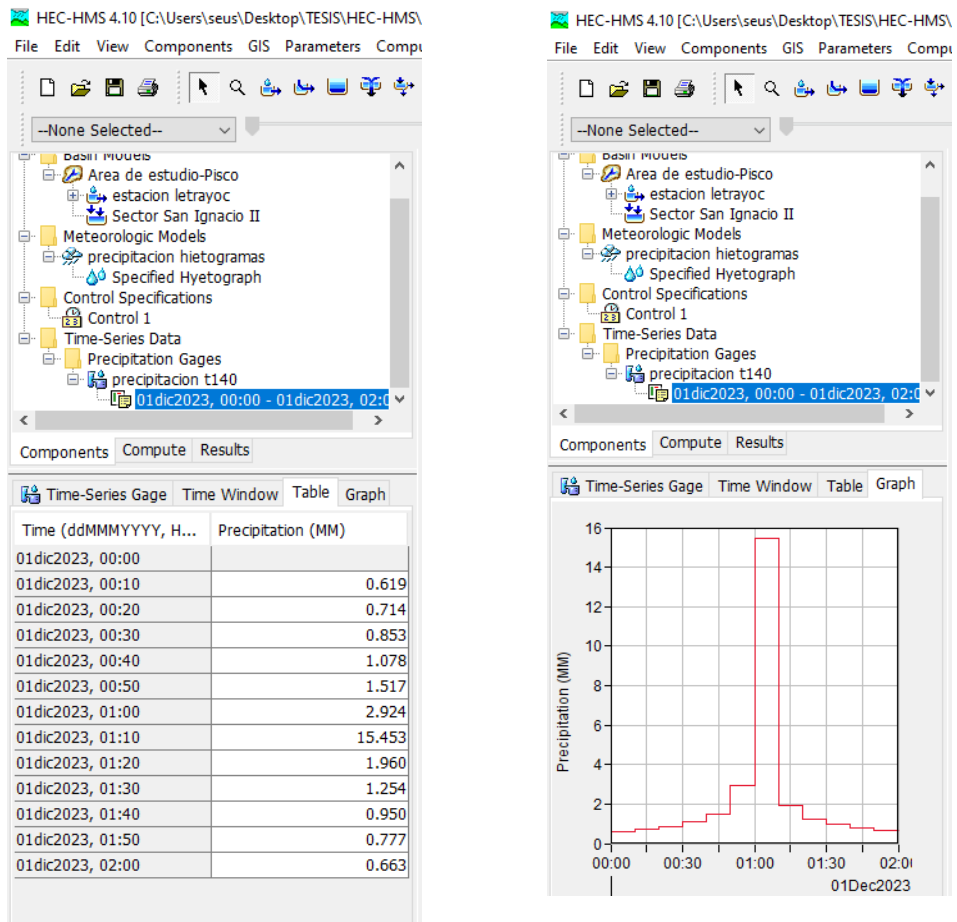


Fig.62. se ingresaron los datos de precipitación y se muestra su hietograma

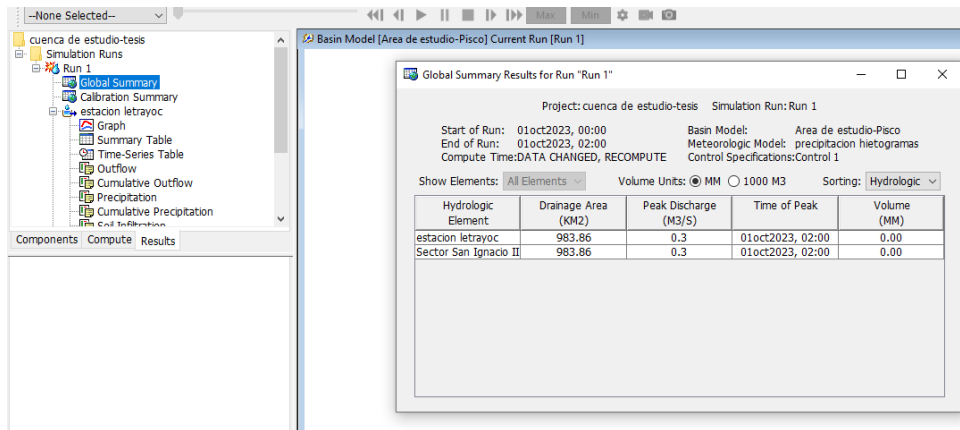


Fig.63. Podemos apreciar el caudal máximo obtenido de 0.3 m3/seg en condiciones normales

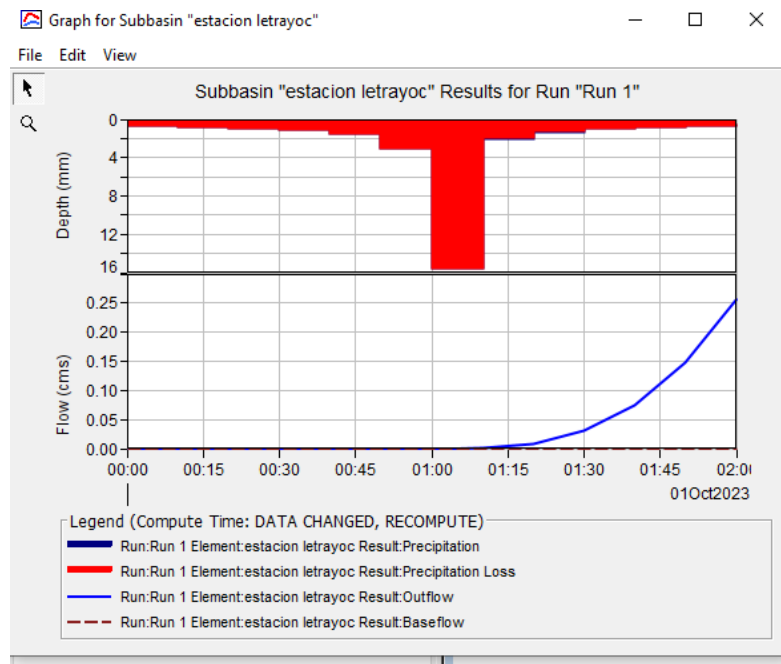


Fig.64. Se aprecia la gráfica del comportamiento de la tormenta

3.2 Hidrogramas de crecida obtenidos en el *HEC HMS* para condiciones normales y húmedas

3.2.1 Condiciones normales

Curva Numero:

CN II: 68.787

Caudal Máximo:

$Q_{max} = 0.3 \text{ M3/SEG}$

Hidrograma:

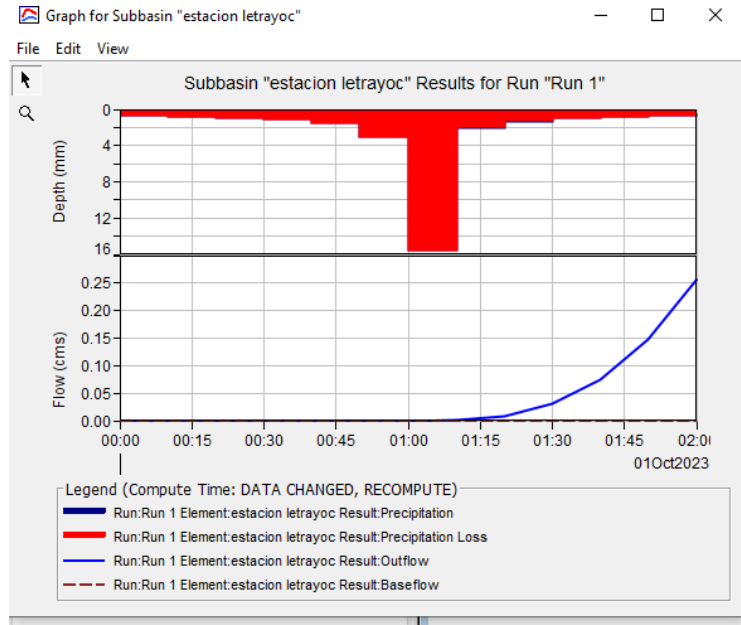


Fig.65. Hidrograma en condiciones normales

3.2.3 Condiciones húmedas

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

Fig.66. Fórmula para la obtención del CN en condiciones húmedas

Curva Numero:

CN III: 83.522

Caudal Máximo:

Q max = 11.1 M3/SEG

HEC-HMS 4.10 [C:\Users\seus\Desktop\TESIS\HEC-HMS\cuenca_de_estudio_tesis\cuenca_de_estudio_tesis.hms]

Global Summary Results for Run "Run 1"

Project: cuenca de estudio-tesis Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01oct2023, 00:00 Basin Model: Area de estudio-Pisco
 End of Run: 01oct2023, 02:00 Meteorologic Model: precipitacion hietogramas
 Compute Time:13dic2023, 19:46:51 Control Specifications:Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
estacion letrayoc	983.86	11.1	01oct2023, 02:00	0.01
Sector San Ignacio II	983.86	11.1	01oct2023, 02:00	0.01

Fig.67. Caudal máximo en condiciones húmedas

Hidrograma:

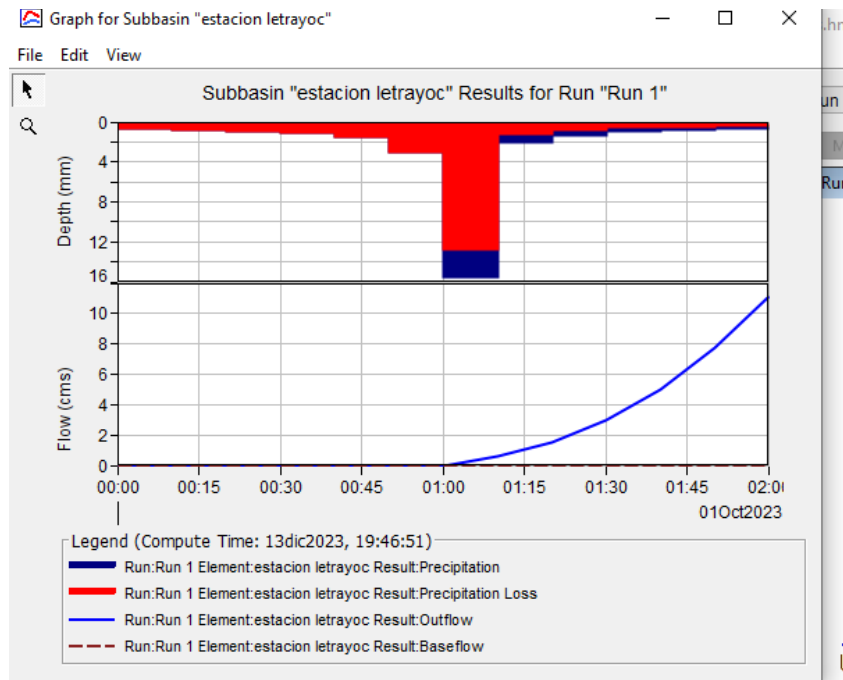


Fig.68. Hidrograma en condiciones húmedas

IV. DISCUSIÓN

Al realizar el análisis multivariar aplicando el método de los hidrogramas con *HEC HMS* para el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II –Humay – Pisco. Se considera para obras de defensa ribereña el 25% de riesgo admisible con una vida útil considerada para puentes y defensas ribereñas $n=40$ años, como resultado nos da un periodo de retorno $TR=140$ años. Se obtuvieron los caudales máximos para un periodo de retorno $TR=140$ años:

TABLA.44. CAUDALES MAXIMOS PARA UN $TR=140$ AÑOS

METODO DE ESTUDIO	TIEMPO DE RETORNO	CONDICIONES NORMALES	CONDICIONES HUMEDAS
HIETOGRAMAS	140 AÑOS	CN:68.787	CN:83.522
		0.3 M3/SEG	11.1 M3/SEG

Nota: Elaboracion propia

El caudal seleccionado como base para este proyecto es el caudal máximo para un tiempo de retorno de 140 años en condiciones húmedas $Q_{max}=11.1$ m³/seg.

El análisis hidrológico multivariar aplicando el método de los hidrogramas con *HEC HMS* se relaciona directamente en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II –Humay – Pisco. El método de los hidrogramas nos ayuda a convertir la precipitación efectiva en escorrentía directa mediante el hidrograma unitario sintético desarrollado por SCS.

Nos damos cuenta que las características físicas y geomorfológicas del área de estudio llegan a relacionarse en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay – Pisco. ya que influyen en los resultados obtenidos, como, por ejemplo, en el cálculo de curva número CN, que se relaciona directamente con la impermeabilidad y caudal.

El análisis de precipitaciones se relaciona en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II –Humay – Pisco guarda relación de tal manera que, se realizó un adecuado análisis de consistencia y prueba de datos dudosos, los resultados obtenidos son confiables y aptos para poder proseguir realizando el análisis hidrológico.

La evaluación del caudal máximo del diseño obtenidos por el análisis hidrológico se relaciona decisivamente en los diseños de obras contra inundación en el sector San Ignacio–Humay–Pisco. El caudal máximo obtenido para condiciones húmedas será de buen uso de base para estudios futuros donde se busque la mejor alternativa para diseños de obras contra inundación en el área de estudio.

En Las obras hidráulicas contra inundación en el sector san Ignacio II, se presentó tres alternativas: Gaviones, Espigones y Enrocado

V. CONCLUSIONES

- Se realizó la evaluación de la influencia del análisis hidrológico multivariado aplicando el método de los hidrogramas con HEC HMS en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay- Pisco.
- El método de los hidrogramas con HEC HMS en el análisis hidrológico multivariado en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II– Humay- Pisco rindieron parte fundamental en la transformación lluvia-escorrentía para cálculo de la escorrentía directa.
- Las características físicas y geomorfológicas del área de estudio tienen relación directa en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II– Humay- Pisco, ya que influyen en los resultados obtenidos, como, por ejemplo, en el cálculo de curva número CN, si esta aumenta, los caudales obtenidos serían mayores. A mayor Curva número mayor impermeabilidad y por consecuencia mayor caudal.
- El análisis de precipitaciones es de gran importancia y se relaciona con el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II– Humay- Pisco debido a que se realizó un adecuado análisis de consistencia y prueba de datos dudosos de los datos de precipitaciones y se obtuvieron resultados confiables.
- La relación del caudal máximo del río con el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II–Humay-Pisco es directamente vinculante y dependiente, debido a que es uno de los factores claves para el buen diseño de las obras hidráulicas contra inundación.
- En las obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II–Humay-Pisco se consideró para obras de defensa ribereña el 25% de riesgo admisible con una vida útil considerada para puentes y defensas ribereñas $n=40$ años, como resultado nos da un periodo de retorno $TR=140$ años.

VI. RECOMENDACIONES

- En el análisis hidrológico multivarial aplicando el método de los hidrogramas con *HEC HMS* para el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay – Pisco. organizar y realizar un tratamiento de información de datos para ingresarlos de manera ordenada al software *HEC HMS* y realizar el análisis hidrológico de manera eficaz y rápida.
- Para el método de los hidrogramas con *HEC HMS* en el análisis hidrológico multivarial en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II– Humay- Pisco, usar el hidrograma SCS que te brinda el software *HEC HMS* debido a que facilita el proceso del análisis hidrológico.
- Las características físicas y geomorfológicas del área de estudio en el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II– Humay- Pisco sean las fundamentales para tener conocimiento del área que se encuentre en estudio, ya que nos muestra cual es el desempeño y comportamiento del ciclo hidrológico en dicha área.
- En el análisis de precipitaciones con el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II– Humay- Pisco, tener fuentes confiables para la obtención de los datos meteorológicos y realizar el tratamiento adecuado como las pruebas de análisis de consistencia y datos dudosos, para filtrar la información obtenida.
- Que el caudal máximo de diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II–Humay-Pisco debe ser tal que permita un dimensionamiento adecuado en el área de estudio para así evitar en el diseño el sobredimensionamiento de obras hidráulicas contra inundación y garantizar un buen funcionamiento y seguridad para la localidad.
- En análisis hidrológico multivarial aplicando el método de los hidrogramas con *HEC HMS* para el diseño de obras hidráulicas contra inundación en el sector San Ignacio II – Humay – Pisco, continuar con los estudios técnicos para el buen desarrollo de la ejecución de obras hidráulicas contra inundación en el área de estudio, como son: estudios de suelos, estudios de cantera, estudios ambientales.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] K.K. Soto Castro. ‘‘Estudio De Máximas Avenidas En La Cuenca Del Rio Moche Mediante El Software HEC-HMS’’, tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo - Perú 2019.
- [2] A. Carhuapoma Rodríguez. ‘‘Uso del Software HEC-HMS Y ArcGIS para determinar máximas avenidas y diseño de bocatoma de la quebrada Chimina. Distrito Sarın-La Libertad’’, tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo - Perú 2019
- [3] F. Valeriano Salcedo y F. Quispe Orosco. ‘‘modelación hidrológica-hidrauica con las plataformas IRIC, HEC-HMS, HEC-RAS y diseño de los muros de encauzamiento del Río Tambo’’, tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa - Perú 2018.
- [4] M. Zevallos Loaiza. ‘‘Diseño de la defensa ribereña para el balneario turístico Cocalmayo, ubicado en la margen izquierda del río Urubamba’’, tesis para optar el master en ingeniería civil con mención en recursos hídricos, Universidad de Piura, Piura - Perú 2015
- [5] SENAMHI 2014
- [6] Instituto Nacional de Defensa Civil. INDECI. ‘‘Manual De Estimaciones del Riesgo Ante Inundaciones fluviales’’, Lima- Perú 2011 [en línea] disponible:
<http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1743/doc1743-contenido.pdf>
- [7] National Engineering Handbook Hydrology Chapters.NRCS, 2015 [En línea] disponible:
<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/?cid=stel prdb1043063>
- [8] F. Franco Alvarado, ‘‘Diseño De Obras Hidrauicas’’,2019.
- [9] Maccaferri, ‘‘Defensas De Márgenes Y Obras Transversales’’ [en línea] disponible
https://www.maccaferri.com/pe/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwir2xBhC_ARIsAMTXk85d7OT0H3J6bPV-qgpx2TfloIHcL-NBMxubdq4zBMKSygKIbjgHsaAurhEALw_wcB
- [10] ‘‘Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo’’. artículo de la universidad nacional de Colombia [en línea]disponible en:
<https://www.redalyc.org/journal/496/49662789043/html/>
- [11] Autoridad nacional del agua -ANA. ‘‘ consecuencias de las inundaciones’’,2018
- [12] Indeci puntos críticos
- [13] P. Lopez- S. Fachelli. ‘‘Metodología de la investigación social cuantitativa ‘Barcelona-Espana2015 PP. 6-15

- [14] Tesis y masters'' técnicas de investigación'' [en línea] disponible en
[:https://tesisymasters.com.co/tecnicas-de-investigacion/](https://tesisymasters.com.co/tecnicas-de-investigacion/)
- [15] SENAMHI.''el fenómeno EL NIÑO en el Perú'', 2014 [en línea] disponible en:
https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf
- [16] Ministerio de transporte y comunicaciones-MTC.'' Manual de hidrología, hidráulica y drenaje'', 2012.
- [17] Manual HEC HMS, [en línea] disponible en:
<https://hidrologia.usal.es/Complementos/Hec-hms-4.pdf>
- [18] Esp. Rubén Villodas ''Hidrología guía de estudio para cátedras'', universidad nacional de cuyo-argentina 2008 [en línea] disponible en:
<file:///C:/Users/seus/Downloads/Manual%20de%20Cuencas.PDF>
- [19] ANA. '' Información Básica de la Cuenca'' [en línea] disponible en:
http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/Capitulo%202_0.pdf
- [20] R. Linsley, M. Kohler Y J. Paulus. *Hidrología para ingenieros*. Mcgraw-Hill Latinoamericana, S.A; Bogotá Colombia:1977
- [21] ANA. ''ANDREA - Análisis de datos y recursos estadísticos del agua'' [en línea] disponible en: <https://snirh.ana.gob.pe/ANDREA/>
- [22] SENAMHI. ''Regionalización de las precipitaciones máximas en el Perú '' [en línea] disponible en:
<https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/239>
- [23] DATA SEARCH VERTEX ALASKA [en línea] disponible en :
<https://search.asf.alaska.edu/#/>
- [24] M., Rolando, C. Jeisson y V. Mauricio. zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento [en línea] disponible en : <https://www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc15359/doc15359-a.pdf>
- [25] evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos de la cuenca del río Pisco. ''Estudio Hidrológico'', Perú 2003.

ANEXOS



Fig A-1. Entramos a la página de EL ESTADO -MIDRAGRI-ANA y seleccionamos sistema nacional de información



Fig A-2. Nos aparece la siguiente página, y seleccionamos análisis de datos y recursos estadísticos del agua-ANDREA



Fig A-3. Se registra una cuenta y abrimos la plataforma



Fig A-4. En la siguiente página seleccionamos análisis de datos

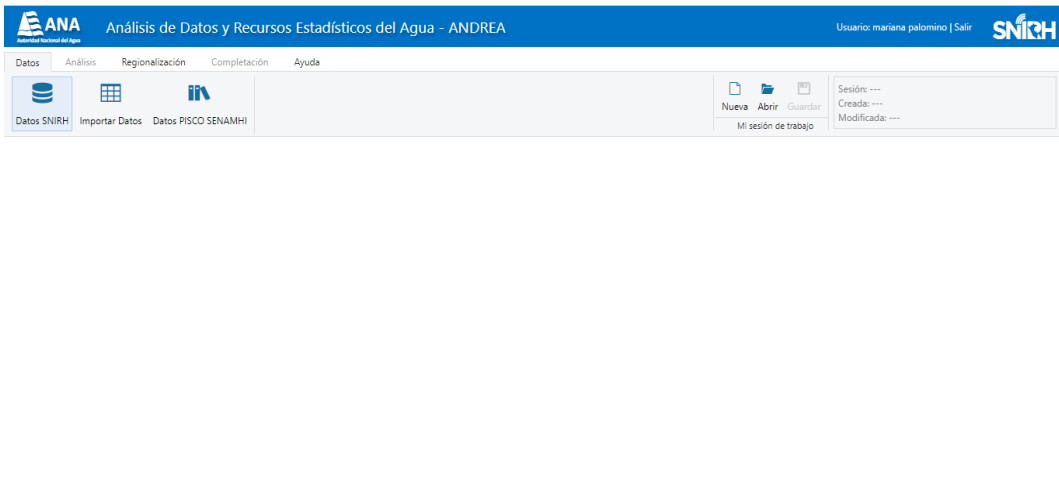


Fig A-5. Nos aparece la siguiente ventana donde se aprecia la página principal del módulo de análisis de datos, seleccionamos DATOS SNIRH

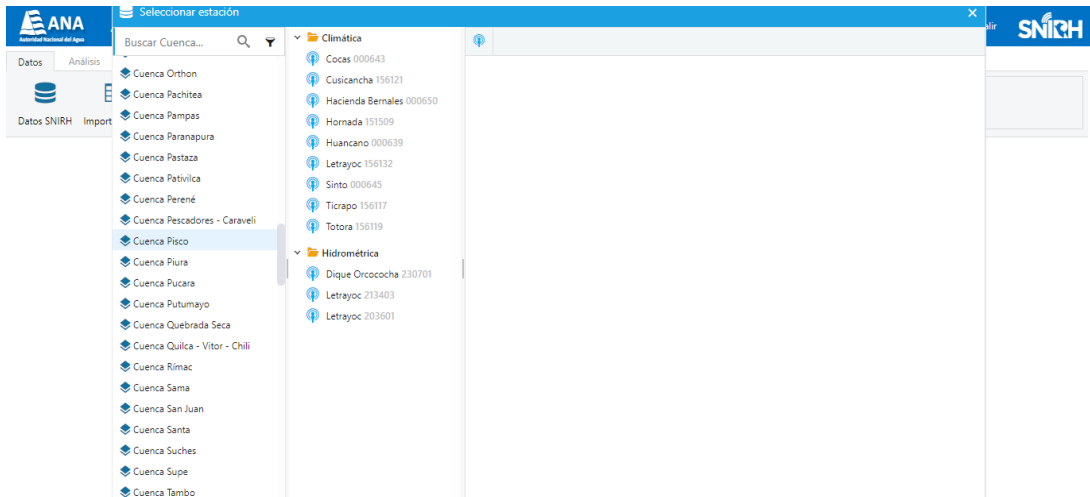


Fig A-6. Buscamos la cuenca del río pisco y seleccionamos las estaciones que se encuentren dentro del área de estudio

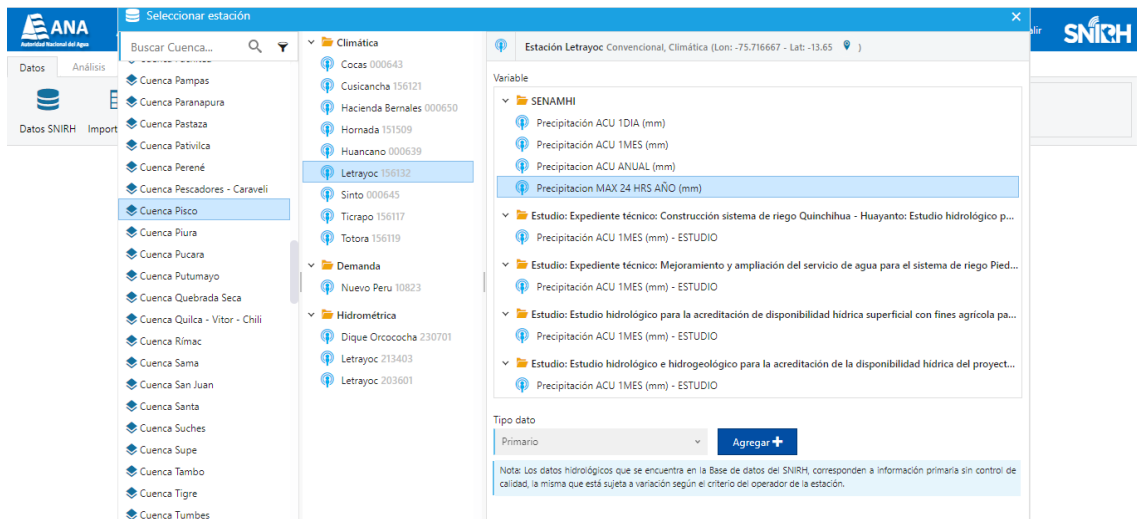


Fig A-7. Seleccionamos y agregamos los datos de precipitación máxima 24h de las estaciones: Cusicancha, Letrayoc, H. Bernales y Huancano, ya que se encuentran dentro del área de estudio

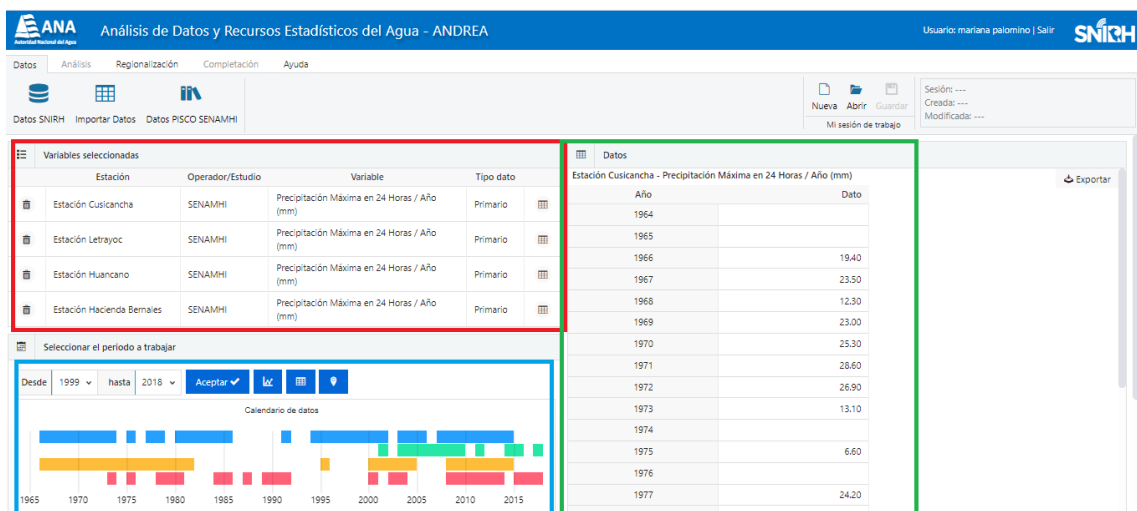


Fig A-8. En la siguiente figura nos muestra las series seleccionadas, los periodos de trabajo y los datos Pmax 24h. de cada estación

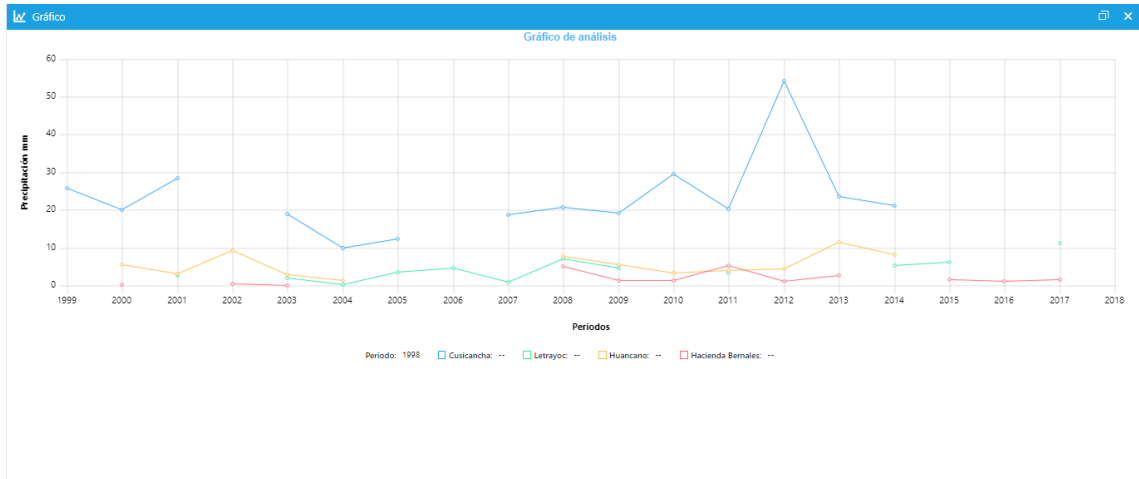


Fig A-9. También podemos apreciar los gráficos de análisis de datos precipitación vs periodos

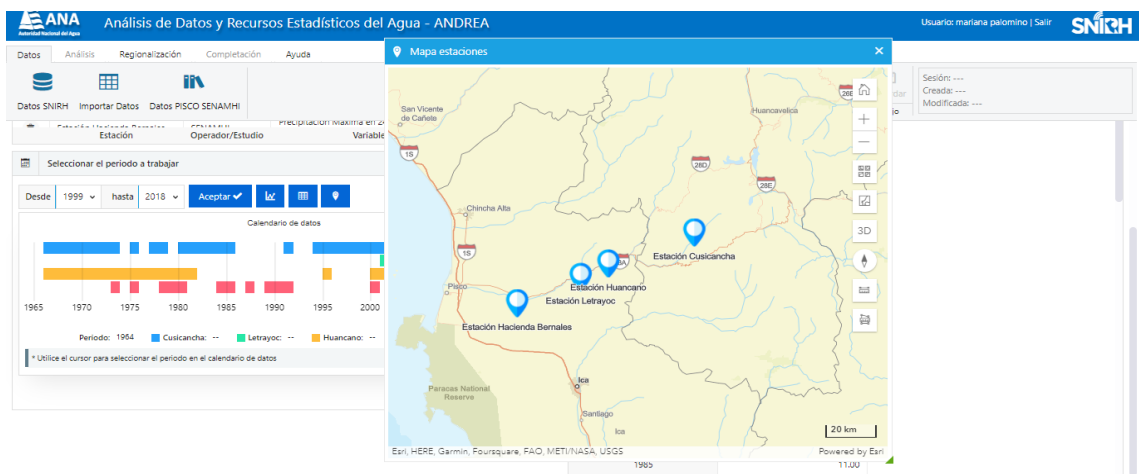


Fig A-10. visualización del mapa de ubicación de las estaciones

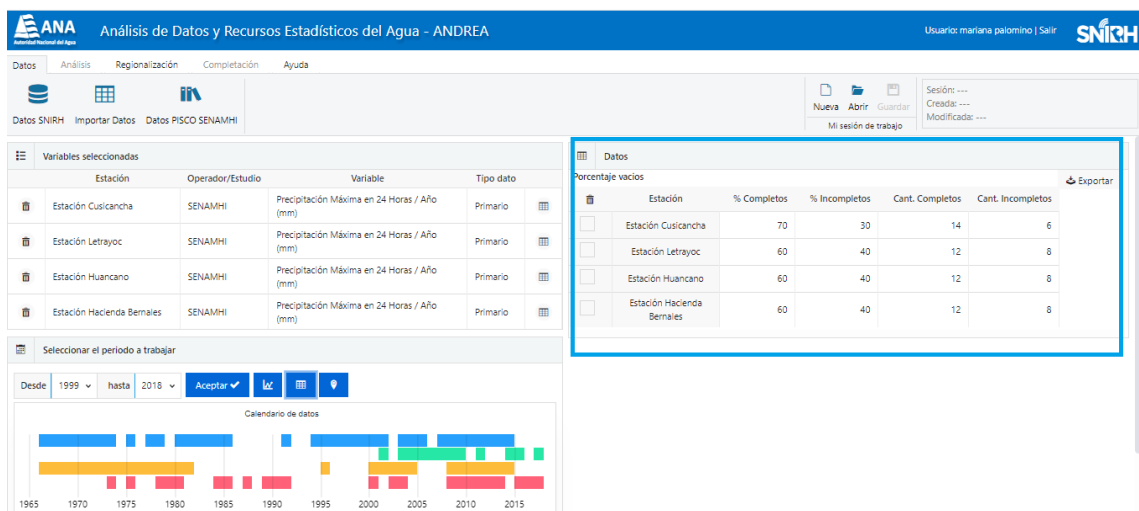


Fig A-11. En la tabla porcentaje de datos vacíos observamos datos completos e incompletos, guardamos el avance y vamos a la pestaña de regionalización

La regionalización nos ayuda en una mejor agrupación y el vector regional es promedio de índices de todas las estaciones. Nos damos cuenta que la estación de hacienda Bernales tiene una Des. est. Desvíos más alto al del Promedio de Des. Est. Desvíos, así que se anula esa estación porque pertenece a otra región climática

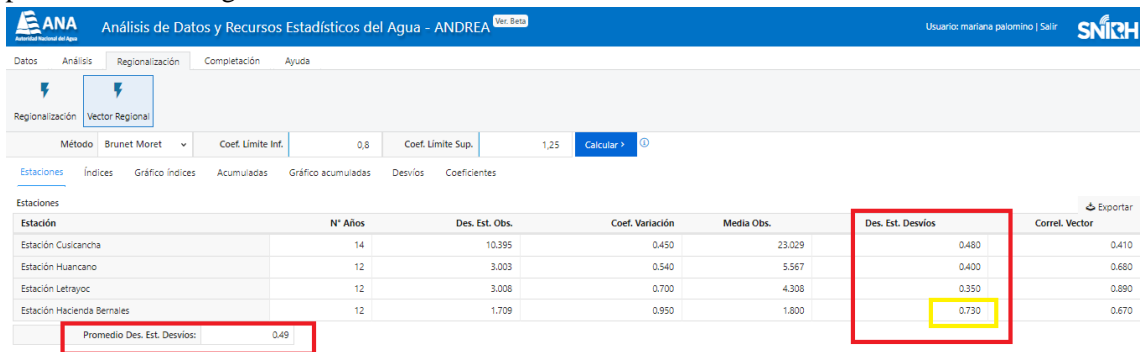


Fig A-12. Vector de regionalización.

Anulamos la estación de la hacienda Bernales. Pero igual los datos de las estaciones no son continuos hay mucha falta de datos y esto es un requisito para ANDREA te realice una buena completacion de datos, además que las estaciones tienen que pertenecer a una misma regionalización

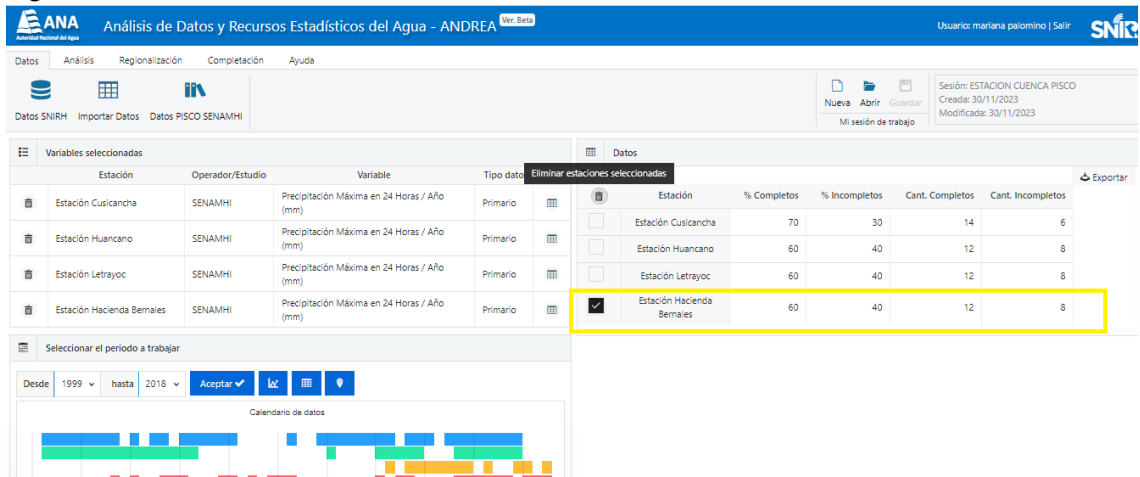


Fig A-13. Anulamos las estaciones que no cumplen los requisitos mínimos.

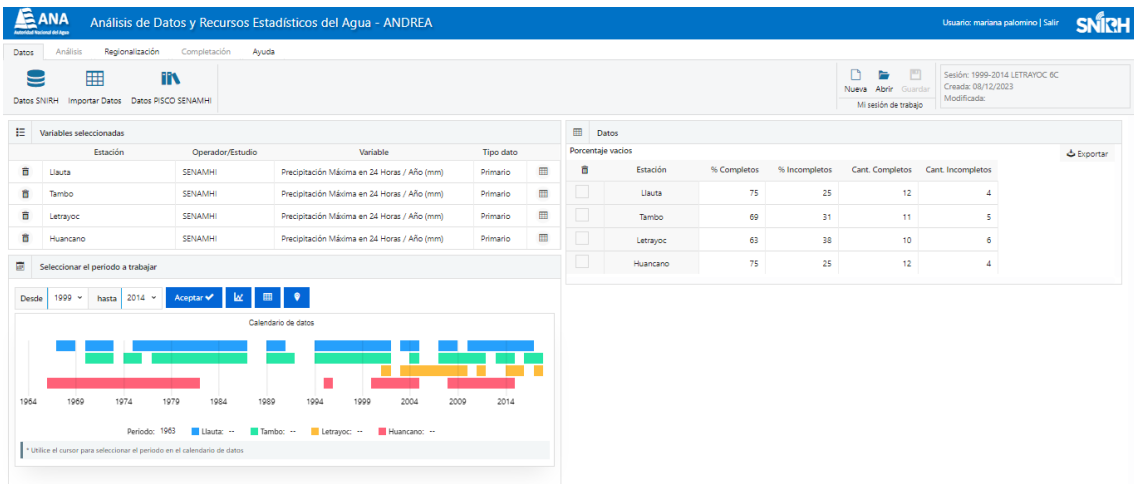


Fig A-14. estudio realizado por el SENAHMI regionalizando las estaciones. Donde las estaciones Letrayoc, Huancano, Tambo y Lauta pertenecen a la regionalización 6C.

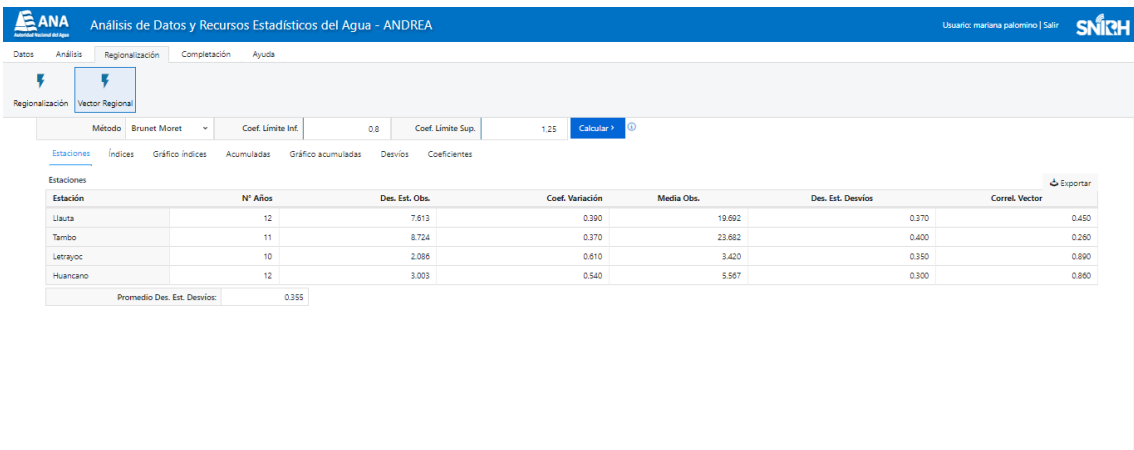


Fig A-15. Con un Promedio de Desviación Estándar de Desvíos igual a 0.355

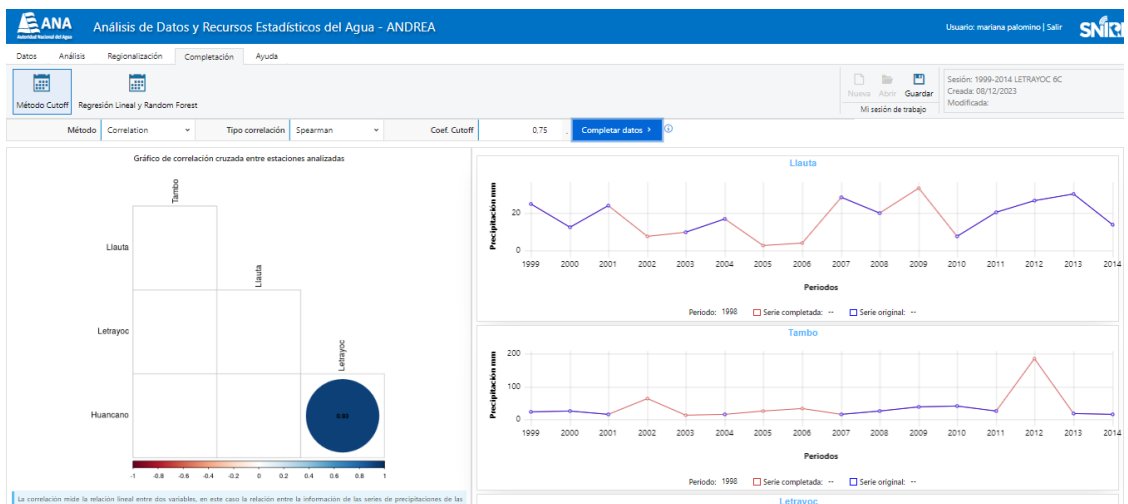


Fig A-16. Luego se realizó la completación de datos y se exporta los resultados

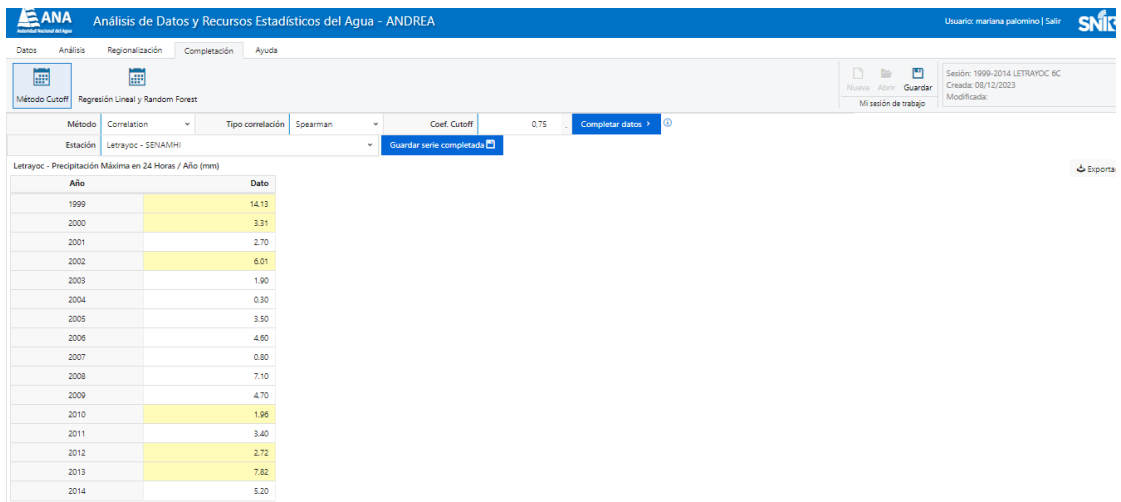


Fig A-17. Se obtiene los resultados para las estaciones antes mencionadas, en este caso nos interesamos en los resultados para la estación de Letrayoc.