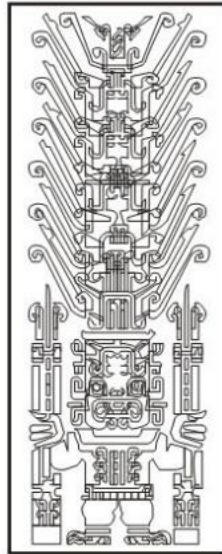


**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**



TESIS

**EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD
DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO
SANTA – AÑO 2013**

PRESENTADO POR:

MILLA VERGARA, ELIO ALEJANDRO

**PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:
DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

LIMA - PERU

2018



Dedicatoria

A mis Padres: Francisco y Edilburga, en la Gloria del Cielo.

A mi esposa Rocío y mi hija Eliana.

A mis hermanos: Delia, Gladis, César e Hilda.

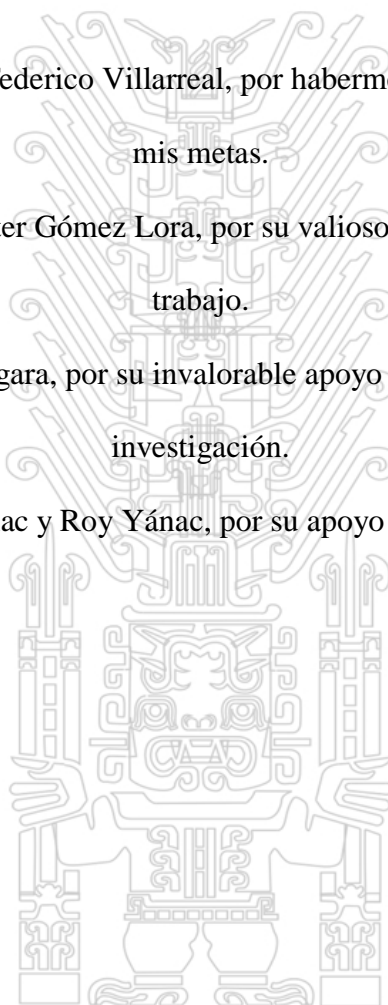
Agradecimientos

A la Universidad Nacional Federico Villarreal, por haberme acogido y permitirme lograr mis metas.

A mi asesor, el Dr. Jhon Walter Gómez Lora, por su valioso aporte en el desarrollo de este trabajo.

Al Mag. Ing. César Milla Vergara, por su invaluable apoyo en la realización de la presente investigación.

A los Ings. Yenica Pachac y Roy Yánac, por su apoyo en el procesamiento GIS



**EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD
DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO SANTA**

Tesis publicada con autorización del autor
AÑO – 2013
No olvide citar esta tesis

UNFV

Resumen

La información final de precipitación y temperatura ha sido obtenida del procesamiento de información a través del Sistema de Información Geográfica (SIG), a partir de imágenes satelitales provenientes de la Misión de Medición de Lluvias Tropicales - TRMM y para el caso de temperaturas a partir del Sistema Global de Asimilación de Datos Terrestres (GLDAS) de la NASA; esto en consideración de que la red pluviométrica y meteorológica de la cuenca es reducida, que en el período de estudio se tiene escasa información y que algunas estaciones han sido desactivadas, que no permiten tener información espacial y temporal completa para fines de la investigación.

Los caudales han sido simulados como escorrentía, a partir de información en formato raster de la precipitación, teniendo en cuenta la pendiente del terreno, la cobertura vegetal con y sin nevados y la presencia de nevados que es la particularidad en este caso. La escorrentía simulada ha sido calibrada con 4 modelos hidrológicos con los registros históricos de la estación La Balsa, que nos han permitido validar la simulación.

Para contrastar la hipótesis, se aplicó el criterio de decisión y observación gráfica, en la relación Temperatura – Precipitación, se acepta la hipótesis nula, no hay correlación significativa estadísticamente y la observación de la ecuación de la tendencia, se concluye que a mayor temperatura se produce mayor precipitación. En relación a Temperatura – Caudal; se rechaza la hipótesis nula, que es significativo y por lo tanto existe correlación entre las variables, que se corrobora con observación de la ecuación de tendencia, que indica que, a mayor temperatura, mayor escurrimiento, lo que indica que se acepta la hipótesis.

Palabras clave: precipitación, escorrentía, nevados.

El graduando

Abstract

The final precipitation and temperature information has been obtained from the information processing through the Geographic Information System (GIS), based on satellite images from the Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) and for the case of temperatures from Global Earth Data Assimilation System (GLDAS); This in consideration of the fact that the pluviometric and meteorological network of the basin is reduced, that in the study period information is scarce and that some stations have been deactivated, which do not allow full spatial and temporal information for research purposes.

The flows have been simulated as a runoff, based on raster information of the precipitation, taking into account the slope of the terrain, the vegetation cover with and without snowfall and the presence of snowfall that is the particularity in this case. The simulated runoff has been calibrated with 4 hydrological models with the historical records of the La Balsa station, which have allowed us to validate the simulation.

In order to test the hypothesis, the criterion of decision and graphical observation was applied, in the relation Temperature - Precipitation, the null hypothesis is accepted, there is no statistically significant correlation and the observation of the trend equation, it is concluded that the higher the temperature Produces greater precipitation. In relation to Temperature - Flow; We reject the null hypothesis, which is significant and therefore there is a correlation between the variables, which is corroborated by observation of the trend equation, which indicates that, at higher temperature, greater runoff, which indicates that the hypothesis is accepted.

Keywords: precipitation, runoff, glaciers

The graduate

EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO SANTA AÑO - 2013

INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos naturales esenciales para la vida y desarrollo de toda región; sin embargo, su escasez en el Perú, se intensifica con el tiempo, debido no sólo a los efectos de las condiciones naturales, cuando ocurren situaciones extremas de presencia de agua, como sequías y máximas avenidas, presencia de los Fenómenos del Niño, la Niña, etc., sino también, a que existe un inadecuado y deficiente manejo y gestión del agua, que agrava la problemática.

El presente trabajo se planteó para verificar la influencia del cambio climático en la disponibilidad hídrica de la cuenca alta del Río Santa, a través de correlaciones de temperatura con la precipitación y caudales de salida en la cuenca alta del río Santa.

En el capítulo I, se describen los antecedentes del trabajo relacionados a cambio climático, glaciares, desglaciación o retroceso glaciar, Validación de lluvia utilizando TRMM y GLDAS, se describe el planteamiento del problema, los objetivos que persigue la investigación, la justificación, los alcances y limitaciones y la definición de variables.

En el capítulo II se hace una amplia descripción del marco teórico que se usará en la metodología y la contrastación de la hipótesis, que incluye teorías respecto al ciclo hidrológico, sistemas hidrológicos, TRMM, GLDAS, GIS, cuenca hidrológica, modelos hidrológicos precipitación – escorrentía, información de imágenes LandSat, calibración de modelos hidrológicos precipitación – escorrentía, luego el marco conceptual con definiciones de términos y el planteamiento de la hipótesis.

En el capítulo III, se indica la el tipo de investigación cualitativo, correlacional y diseño cuantitativo, se expone la estrategia de prueba de hipótesis que es estadística, la

Tesis publicada con autorización del autor

No olvidarse esta tesis

UNFV

operacionalización de variables, la descripción de la población y la delimitación de la muestra que es no probabilística o dirigida a la cuenca alta del río Santa, las técnicas de investigación, los instrumentos de recolección de datos que son las imágenes satelitales provenientes de: para el caso de precipitaciones de la Tropical Rainfall Measuring Mission [Misión de Medición de Lluvias Tropicales] (TRMM) de la NASA y The Japan Aerospace Exploration Agency [Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón] (JAXA) y para el caso de temperaturas desde el Global Land Data Assimilation System Sistema [Global de Asimilación de Datos Terrestres] (GLDAS) de la NASA que tienen carácter temporal y espacial; el procesamiento y análisis de datos con el uso del software ArcGIS; la descarga de imágenes LandSat para la determinación de cobertura vegetal y presencia de nevados; la generación de descargas a partir de la precipitación y la calibración del modelo hidrológico.

En el capítulo IV, se presentan los resultados del trabajo, considerando la contrastación de la hipótesis y el respectivo análisis e interpretación, que se realiza a través de la prueba de correlación y tendencias: temperatura – Precipitación, en la que se demuestra que no hay correlación significativa y la tendencia es de mayor temperatura, mayor precipitación y Temperatura – Caudal, en la que se demuestra que existe correlación entre las variables y la tendencia es a mayor temperatura, mayor caudal.

Y finalmente en el capítulo V, se presenta la discusión de los resultados, se plantean las conclusiones y recomendaciones y se listan las referencias bibliográficas consultadas en la elaboración del trabajo.

EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO SANTA AÑO - 2013

INDICE

CARATULA	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN.....	vi
CAPITULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	8
1.3 Objetivos:	9
1.3.1 Objetivo General:.....	9
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	9
1.4 Justificación.....	10
1.5 Importancia.....	12
1.6 Alcances y Limitaciones	13
1.7 Definición de Variables.....	13
CAPITULO II.....	14
MARCO TEÓRICO	14
2.1 Teorías Generales Relacionadas con el Tema.....	14
<i>Ciclo Hidrológico:</i>	14
<i>Distribución Global del Agua</i>	14
<i>Sistema Hidrológico</i>	15
2.2 Bases Teóricas Especializadas sobre el Tema.....	16
2.2.1 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission).....	16

Tesis publicada con TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)
No olvide citar esta tesis

UNFV

2.2.2	<i>GLDAS (Sistema Global de Asimilación de Datos Terrestres)</i>	16
2.2.3	<i>Términos del GIS Usados en el Procesamiento de Información</i>	17
2.2.4	<i>Modelos Hidrológicos Precipitación - Escorrentía</i>	21
2.2.5	<i>Información de Imágenes LANDSAT</i>	24
2.2.6	<i>Calibración de Modelos Hidrológicos Precipitación - Escorrentía</i>	24
2.3	Marco Conceptual. Definición de Términos.	27
2.4	Hipótesis	28
CAPITULO III		29
MÉTODO		29
3.1	Tipo	29
3.2	Diseño de Investigación	29
3.3	Estrategia de Prueba de Hipótesis	30
3.4	Variables.....	31
3.5	Población.....	32
3.6	Muestra.....	32
3.7	Técnicas de Investigación	32
3.8	Instrumentos de Recolección de Datos	33
3.9	Procesamiento y Análisis de Datos	34
3.9.1	<i>Descarga de datos satelitales en formato KMZ (2000-2014)</i>	34
3.9.2	<i>Procesamiento en ArcGIS</i>	38
3.9.3	<i>Procesamiento de Imágenes LANDSAT</i>	49
3.9.4	<i>Metodología de Generación de Descargas</i>	55
3.9.5	<i>Calibración del Modelo</i>	70
CAPITULO IV		75
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		75
4.1	Contrastación de Hipótesis.....	75
4.1.1	<i>Prueba de Correlación y Tendencia Temperatura - Precipitación</i>	75
4.1.2	<i>Prueba de Correlación y Tendencia Temperatura - Caudal</i>	77
4.2	Análisis e Interpretación.....	78
CAPITULO V.....		80
DISCUSIÓN.....		80
CAPITULO VI.....		83
CONCLUSIONES.....		83
CAPITULO VII.....		85
RECOMENDACIONES		85
CAPITULO VIII.....		86

ANEXOS

- ANEXO A: MODEL BUILDER DE TEMPERATURA

Model Builder: Dissolve Temperatura 2001

Model Builder: Dissolve Temperatura Enero

Model Builder: Raster Temperatura Enero

Model Builder: Proceso Temperatura Enero

- ANEXO B: MODEL BUILDER DE PRECIPITACIÓN

Model Builder: Dissolve Precipitación enero

Model Builder: Proceso Completo Precipitación enero

Model Builder: Proceso Ampliado Precipitación

- ANEXO C: MODEL BUILDER DE CALIBRACIÓN DE SIMULACIÓN DE CAUDALES

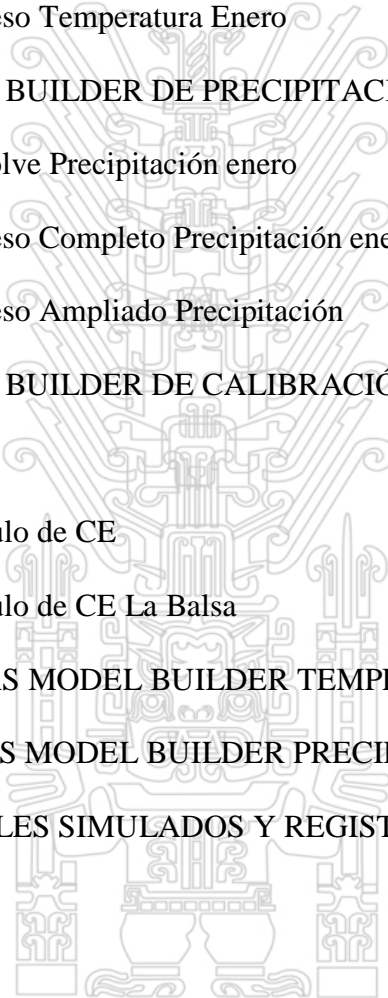
Model Builder: Cálculo de CE

Model Builder: Cálculo de CE La Balsa

- ANEXO D: SALIDAS MODEL BUILDER TEMPERATURA

- ANEXO E: SALIDAS MODEL BUILDER PRECIPITACIÓN

- ANEXO F: CAUDALES SIMULADOS Y REGISTRADOS



INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	<i>Grado de ajuste de las observaciones en función de E</i>	26
Tabla 3.1	<i>Selección de variables en el Giovanni, de datos de precipitación TRMM 68</i>	36
Tabla 3.2	<i>Selección de variables en el Giovanni, de datos de Temperatura GLDAS</i>	37
Tabla 3.3	<i>Ejemplo de Tabla de Atributos (Features) de las polilíneas de Temperatura</i>	39
Tabla 3.4	<i>Tabla de atributos con temperatura en grados Celsius</i>	40
Tabla 3.5	<i>Tabla de atributos del mes de enero 2000: Tabla_1_2000</i>	43
Tabla 3.6	<i>Tabla de atributos de las estaciones meteorológica en la cuenca alta del río Santa</i>	44
Tabla 3.7	<i>Tabla de atributos, del archivo T_Resumen_Temperatura_enero</i>	44
Tabla 3.8	<i>Tabla de atributos del mes de enero 2000: Archivo Tabla_1_2000</i>	48
Tabla 3.9	<i>Enviar toda la información a un Excel / nombre (PP_Resumen_Precipitación_enero)</i>	48
Tabla 3.10	<i>Resumen Precipitación mensual, años 2000- 2014 en mm</i>	50
Tabla 3.11	<i>Resumen Temperatura media mensual, años 2000- 2014 en mm</i>	51
Tabla 3.12	<i>Reclasificación de la Pendiente</i>	57
Tabla 3.13	<i>Reclasificación de los valores del índice de vegetación (Para cuencas SIN aporte de Nevados)</i>	61
Tabla 3.14	<i>Reclasificación de los valores del índice de vegetación (Para cuencas CON aporte de Nevados)</i>	61
Tabla 3.15	<i>Reclasificación de los valores del índice de Nevados</i>	63

Tabla 3.16 <i>Número CE, y los valores de la escorrentía superficial CE</i> <i>(Microcuencas SIN aportes de Nevados)</i>	64
Tabla 3.17 <i>Número CE, y los valores de la escorrentía superficial CE</i> <i>(Microcuencas CON aportes de Nevados)</i>	64
Tabla 3.18 <i>Factores de Conversión de la Escorrentía de mm/mes a m³/s</i>	66
Tabla 3.19 <i>Cálculo de Caudales Mensuales al percentil 75%</i>	68
Tabla 3.20 <i>Determinación del Caudal Base y Deshielo de la Cuenca</i> <i>Alta del río Santa</i>	69
Tabla 3.21 <i>Caudal promedio mensual registrado del río Santa – Estación</i> <i>La Balsa</i>	70
Tabla 3.22 <i>Reclasificación Índice de Vegetación</i>	71
Tabla 3.23 <i>Reclasificación Índice de Nieve</i>	71
Tabla 3.24 <i>Caudal promedio mensual Simulado del río Santa - Estación</i> <i>La Balsa</i>	72
Tabla 4.1 <i>Resumen temperatura (°C) y precipitación mensual (mm),</i> <i>promedio anual en la cuenca alta del río Santa</i>	76
Tabla 4.2 <i>Resumen temperatura (°C) y caudal (m³/seg) mensuales,</i> <i>promedio anual en la cuenca alta del río Santa</i>	77

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1</i>	Balance hídrico 2016 de la Cuenca del Santa	12
<i>Figura 2.1</i>	Ciclo del Agua.....	14
<i>Figura 2.2</i>	Distribución Global del Agua	15
<i>Figura 2.3</i>	Esquema de medición de la lluvia por los diferentes sensores (PR, VIRS, TMI) transportados por el Satélite TRMM.....	16
<i>Figura 2.4</i>	Ejemplo de un Model Builder 1_MES_ENERO. ToolBox: PRECIPITACION_MES_RASTER_SANTA_topo.tbx	19
<i>Figura 3.1</i>	Mapa Hidrográfico del Perú.....	33
<i>Figura 3.2</i>	Pantalla del entorno GIOVANNI, con variables seleccionadas.....	35
<i>Figura 3.3</i>	Pantalla de Giovanni con datos de precipitación enero 2000.....	36
<i>Figura 3.4</i>	Pantalla de Giovanni con datos de temperatura enero 2000	37
<i>Figura 3.5</i>	Imagen de precipitación enero 2000, abierto en Google Earth Pro.....	38
<i>Figura 3.6</i>	Imagen de Temperatura enero 2000, abierto en Google Earth Pro	38
<i>Figura 3.7</i>	Model Builder dissolve de temperatura	39
<i>Figura 3.8</i>	Interpolación "Topo to Raster", para el mes de enero con archivo dem_t_1_2000	41
<i>Figura 3.9</i>	Clip al raster en base a la cuenca del Santa, para enero del 2000 (T_1_2000_Santa.tif)	41
<i>Figura 3.10</i>	Clip al raster en base a la delimitación hasta la estación la Balsa (T_1_2000_Balsa.tif).....	42
<i>Figura 3.11</i>	Reclasificación de raster cada 1°C para el mes de enero con nombre: Clas_t_1_2000.....	42

<i>Figura 3.12</i> Raster con los valores promedio de temperatura por rango, para el mes de enero (T_mean_1_2000)	43
<i>Figura 3.13</i> Interpolación "Topo to Raster" de precipitación para el mes de enero con archivo (dem_pp_1_2000).....	45
<i>Figura 3.14</i> Clip al raster en base a la cuenca del Santa/ nombre (PP_1_2000_Santa.tif)	46
<i>Figura 3.15</i> Clip al raster en base a la delimitación hasta la estación la Balsa/ nombre (PP_1_2000_Balsa.tif)	46
<i>Figura 3.16</i> Reclasificación de raster cada 25 mm /nombre (cla_pp_1_2000)	47
<i>Figura 3.17</i> Creación de un raster con los valores promedio por rango/ nombre (pp_mean_1_2000).....	47
<i>Figura 3.18</i> Variación de la precipitación promedio mensual 2000 – 2014 en mm.....	50
<i>Figura 3.19</i> Variación de la Temperatura media mensual promedio de los años 2000 – 2014 en °C.....	51
<i>Figura 3.20</i> Ubicación de path/row de la zona de la cuenca alta del río Santa.....	52
<i>Figura 3.21</i> Pantalla del GloVis USGS, con Path/Row: 7/67, del 22/08/2014 y 1% de cobertura de nube	53
<i>Figura 3.22</i> Pantalla del GloVis USGS, de envío al carrito de compras del archivo LC80070672014234LGN00.....	53
<i>Figura 3.23</i> Pantalla USGS, muestra parte de información de <i>Data Set Attribute</i> y <i>Attribute Value</i>	54
<i>Figura 3.24</i> Pantalla del GloVis USGS, de opciones de descarga.....	54
<i>Figura 3.25</i> Pantalla del GloVis USGS, para guardar archivo, para el caso de la opción Level 1 GeoTIFF Data Product (938.2 MB)	55

<i>Figura 3.26</i> Imagen Landsat del 22/08/2014, para la ubicación path/row: 7/67, con 1% de cobertura de nubes	55
<i>Figura 3.27</i> Procedimiento para Hallar la Pendiente	56
<i>Figura 3.28</i> Clasificación de la Pendiente	58
<i>Figura 3.29</i> Procedimiento para el Modelamiento de la Cobertura Vegetal	59
<i>Figura 3.30</i> Clasificación de la Pendiente	60
<i>Figura 3.31</i> Clasificación de la Pendiente	62
<i>Figura 3.32</i> Procedimiento para hallar los valores del Coeficiente de Escorrentía Ce	64
<i>Figura 3.33</i> Procedimiento para Determinar el Mapa del Coeficiente de Escorrentía CE.....	65
<i>Figura 3.34</i> Relación de Caudales promedio Q_n/Q_{n+1} , estación La Balsa	68
<i>Figura 3.35</i> Comparación de las Descargas Registradas y Simuladas para el período enero 2000 a diciembre 2014 – Estación La Balsa	72
<i>Figura 4.1</i> Ploteo de valores pares de Temperatura y Precipitación mensual promedio anual período enero 2000 a diciembre 2014	78
<i>Figura 4.2</i> Ploteo de valores pares de Temperatura y Caudal mensual promedio anual período enero 2000 a diciembre 2014	79

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Del IPCC (2001), podemos resumir

OBJETIVO:

El IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático), se creó en 1988 como parte de la OMM (Organización Meteorológica Mundial), con la finalidad de evaluar todos los aspectos del cambio climático, que involucre también las actividades humanas (IPCC, 2001, p.I-19).

RESULTADOS:

En el acápite *B.3 de Cambios Observados en la Extensión de la Capa de Nieve y del Hielo Terrestre y Marino*, indican que hay una correlación positiva entre la disminución de la capa de nieve y el aumento de la temperatura. Determinan que, hasta fines de los sesenta, se ha producido alrededor del 10% de reducción de la extensión de la capa de nieve (IPCC,2001, p.I-26).

CONCLUSION:

En el acápite F.8 Proyecciones de los Cambios Futuros en el Hielo Terrestre (glaciares, casquetes y capas de hielo), el Hielo Marino y la Capa de Nieve, concluyen que la disminución de la extensión de capa de nieve seguirá durante el siglo XXI y que estos dependen fundamentalmente de las variaciones de temperatura y no de las variaciones de precipitación (IPCC, 2001, p.I-62).

Centro de Estudios Científicos (2011). Variaciones Recientes de Glaciares en Chile, Según Principales Zonas Glaciológicas. Informe Final. Trabajo encargado a

la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas - Chile

OBJETIVO:

Los objetivos del trabajo eran: determinar las variaciones recientes de glaciares en Chile en las sub-cuencas que presentan aporte glaciar; completar y sistematizar los estudios de variaciones de glaciares existentes en Chile; determinar las variaciones interdecadas en el frente y área de glaciares en Chile en la segunda mitad del siglo XX y primera década del siglo XXI en base a datos satelitales y completar las bases de datos del Plan Nacional de Monitoreo Glaciar (DGA, 2009). (CEC, 2011, p.10).

RESULTADOS

Se resume a continuación los principales resultados que son de interés del presente trabajo. Indican que en la zona Norte A de Chile que comprende el Altiplano chileno, el Sur de Perú y el Altiplano de Bolivia, las precipitaciones son esencialmente estivales (régimen convectivo), y a escala interanual la variabilidad de las precipitaciones son el principal gatillante de las fluctuaciones en el balance de masa de los glaciares y por ende de sus variaciones frontales. La tendencia entre 1979 y 2006 en superficie muestra un enfriamiento (Falvey & Garreaud, 2009), mientras que en altura (2000-6000 msnm), la radiosonda de Antofagasta y la estación de Calama muestran una leve tendencia al alza de temperaturas. Las precipitaciones están fuertemente afectadas por eventos ENOS (Romero et al., 1997), no hay un comportamiento homogéneo y en general durante años de presencia de El Niño, hay aumentos de precipitaciones, mientras que, en años con presencia de La Niña, se da lo contrario (Vuille et al., 2008). (CEC, 2011, p.25-26).

CONCLUSIONES

Desde 1984 ha habido una mayor recurrencia de eventos La Niña, por lo que se puede suponer que ésta es la explicación de las pérdidas de masa glaciar en esta región.

(CEC, 2011, p.26)

Concluyen que además la gran mayoría de los glaciares chilenos ha retrocedido y han reducido sus superficies desde los primeros registros históricos hasta nuestros días. Muchos de ellos muestran una aceleración de dichas tendencias, especialmente en Patagonia, donde las tasas de retroceso se han duplicado en las últimas décadas. (CEC, 2011, p.26).

Lavado W, Labat D, Loup J., Ronchail J, Ordoñez J, 2009, en su artículo “Validación de lluvia utilizando TRMM en dos cuencas amazónicas peruanas y su aplicación en modelos mensuales de balance hídrico”, publicado en la *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, resumen:

OBJETIVO

Dado que la Cuenca Amazónica es la región con menor distribución de estaciones de lluvia, sobre todo en la Selva baja, el objetivo del trabajo fue comparar el producto 3B43 del Tropical Rain Measuring Mission (TRMM) con estaciones climatológicas en dos subcuencas (Urubamba y Tambo) del río Ucayali. (Lavado, Labat, Loup, Ordoñez, 2009, p.11).

RESULTADOS

Se han comparado datos TRMM (producto 3B43) y datos de lluvia in situ entre 1998 a 2007, a través de la obtención de parámetros estadísticos tales como: coeficiente de correlación de Pearson y error relativo (Lavado, et al, 2009, p.14).

Al usar TRMM, se subestiman las lluvias en las zonas bajas de la cuenca del Urubamba (zona con menor cantidad de estaciones pluviométricas). Los coeficientes de correlación calculados son significativos ($\alpha = 0.05$) con mejores valores en la frontera de las dos subcuencas. Las comparaciones de los valores medios mensuales de las tres bases de datos de lluvia (in situ, TRMM y TRMM mejorado) utilizados

subestimaciones para Tambo. Los datos de TRMM mejorados (Obs.R TRMM) presentan buenas relaciones con los datos de lluvia in situ. (Lavado, et al, 2009, p.14).

CONCLUSIÓN

Luego concluyen, que los datos del TRMM y su mejoramiento (Obs. R TRMM) describen mejor los regímenes hidrológicos en zonas en las que se encuentran pocas estaciones pluviométricas en la cuenca amazónica peruana. Consideran indispensable tener estaciones pluviométricas in -situ para validar y mejorar los datos de lluvia. Recomiendan realizar futuros trabajos usando datos del TRMM a nivel diario (producto 3B42) y compararlo con información registrada (Lavado, et al, 2009, p.16).

Satgé, F., Bonnet, M.P., Timouk, F., Pilco, R., Molina, J., Gosset M., Alcoba M.(2012) en su artículo “Comparison of two Satellite-Based Precipitation Estimate Products with Gauges over The Altiplano's Watershed”, publicado por HASM : Hydrology of the Altiplano, from Spatial to Modelation;

OBJETIVO

Proponen el uso de datos satelitales como solución alternativa en grandes áreas con poca información, con pocos pluviómetros y una distribución desigual, en las que las series presentan muchos huecos desde días hasta años. La zona en estudio se ubica entre el Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salares (TDPS). Proponen evaluar cuál producto representa mejor la pluviometría, con el uso de datos de: TRMM (*Tropical Rainfall Measurement Mission*), PERSIANN (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks*) y el CMORPH (*CPC MORPHing technique*). La información disponible tiene Resolución temporal: Diario, Resolución espacial: 0.25° (Satgé et al, 2012, p.2-4).

RESULTADOS

Para datos Mensuales los mejores resultados son para TRMM en la zona central de la cuenca. PERSIANN aumenta siguiendo el gradiente Norte Sur y sobre estima las precipitaciones ($RME < 1$). En época Húmeda el TRMM es “bueno” en toda la cuenca, mientras que el PERSIANN es mejor en la parte sur de la cuenca. En época Seca, los dos productos presentan buenos resultados en la parte sur; y malos resultados en la zona extrema sur en donde las precipitaciones son menores de 5 mm/mes. (Satgé et al, 2012, p.7).

CONCLUSIÓN

Concluyen que, los productos PERSIANN y TRMM para caracterizar la lluvia es dependiente de la cantidad de lluvia, el clima árido de la región ha mostrado los límites del uso de esos productos en el contexto de pocas lluvias. En los casos en las que la precipitación es por debajo de 2.5 mm/día, no son adecuados esos productos, depende de la región, del contexto. Los productos PERSIANN o TRMM representan mejor las precipitaciones (Sagte et al, 2012, p.12).

Zubieta R. (2013), Modelado Hidrológico Distribuido de la Cuenca Amazónica Peruana Utilizando Precipitación Obtenida por Satélite. Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae en Recursos Hídricos. Universidad Nacional Agraria La Molina – Lima.

OBJETIVO

El objetivo del estudio fue desarrollar el modelado distribuido MGB-IPH (Modelo Hidrológico Distribuido de Grandes Cuencas) en las subcuencas del río Ucayali, río Marañón y río Napo, de la cuenca amazónica peruana. Considera también evaluar la utilidad de datos de lluvia estimados por satélite (período 2003 – 2009) como variable

de entrada para el desarrollo del modelo hidrológico lluvia – escorrentía. (Zubieta, 2013, p.18).

RESULTADOS

Divide los resultados en 3 simulaciones de caudales a partir de datos de satélites TRMM, CMORPH y PERSIANN. Siendo nuestro interés la simulación de caudales a partir de datos satelitales de precipitación como son los obtenidos del producto 3B42 V7 del TRMM, resumimos a continuación los resultados obtenidos.

En el caso del río Ucayali, los caudales observados en las estaciones: Requena Pucallpa y Santa Rosa de Ucayali concuerdan muy bien con los datos simulados (Coeficiente Nash-Sutcliffe $NS = 0.86$) con pequeñas diferencias en las fluctuaciones estacionales. En el caso del río Marañón con caudales observados en las estaciones San Regis y Chazuta, los resultados son mínimamente confiables ($NS = 0.86$) y en el caso del río Napo los resultados no son confiables ($NS \cong 0.20$) (Zubieta, 2013, p.85).

CONCLUSIÓN

Concluyen que el modelo es capaz de reproducir hidrogramas en las dos más grandes cuencas de la cuenca amazónica peruana, basados en que los coeficientes de rendimiento Nash Sutcliffe (NS) muestran un buen rendimiento. Los resultados obtenidos sugieren que el producto TRMM 3B42 V7 puede ser usado como variable de entrada a un modelo hidrológico de lluvia - escorrentía en las cuencas Marañón y Ucayali. (Zubieta, 2013, p.99).

Quesquén R. (2006). *Informe Final: Propuesta de Asignación de Agua superficial en Bloques – Cuenca Alta del Río Santa – A*. Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua, PROFODUA – Fase II, IRH, INRENA. Lima – Perú.

OBJETIVO

Si bien es cierto que el objetivo principal del trabajo era elaborar una propuesta de asignaciones de agua en bloque con fines de formalizar los derechos de uso de agua superficial en la cuenca alta del río Santa, pero dado que en la cuenca alta del río Santa se carece de registros de descarga, se considera necesario generar caudales para cumplir con el objetivo principal, por lo cual propone utilizar un modelo hidrológico de generación de descargas, que se ajuste a las características de la cuenca con presencia de nieve (Quesquén, 2006, p.1).

RESULTADOS

Quesquén (2006), propone usar el modelo hidrológico determinístico de generación de descargas denominado DISAPRO I, que considera factores físicos y climáticos como la pendiente del terreno, la presencia de vegetación y de nevados. La aceptación del modelo que represente bien el proceso precipitación - escorrentía, en el proceso de calibración que consiste en verificar la aproximación de valores entre los caudales generados a través del modelo con los caudales aforados en la estación hidrométrica La Balsa, se basa en los valores del coeficiente de regresión (r^2) cuando se obtienen valores mayores a 0.7.

CONCLUSIÓN

Para el caso de las descargas medias históricas aforadas en la estación La Balsa y la descarga simulada para el mismo punto, obtiene un coeficiente de regresión de 0.986, que se considera una aproximación aceptable. Para descargas al 75% el coeficiente de correlación es 0.989, para caudales en el año húmedo es 0.962 y para el año seco es de 0.983, que también se consideran guardan una buena relación estadística por lo que considera que la calibración es aceptable (Quesquén, 2006, p.73-78).

La calibración se ha realizado tanto para los caudales medios, al 75%, año húmedo y año seco. Para el cálculo de caudales generados, se han reclasificado los índices de Vegetación y Nieve, cambiando sus valores mediante la prueba y error y luego comparando en cada caso con los caudales históricos de la cuenca en la estación La Balsa (Quesquén, 2006, p.156).

1.2 Planteamiento del Problema

Según los estudios realizados por el *Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (Noviembre 1996)*, en los siguientes años se producirá aumento de la temperatura debido al fenómeno de calentamiento global, que tiene como fuente la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, los mismos que están degradando el ecosistema y que no se detendrán así que se disminuya su emisión.

De acuerdo a las proyecciones de aumento de temperatura, en las condiciones más desfavorables, las temperaturas en el mundo tendrán un aumento de 1.4° a 5.8°, lo que provocará que los casquetes polares y que en los glaciares del mundo se produzca la fusión de la nieve (IPCC, 1996).

Considerando que los caudales de los ríos que se encuentran en la zona comprendida en la cuenca alta del río Santa, son regulados por los glaciares de la cordillera blanca, la misma que concentra el 25% de los glaciares tropicales el mundo, que lo califica como una de las cordilleras más grandes del mundo y que a su vez es la más sensitiva a los cambios producidos por el fenómeno de calentamiento global, es necesario evaluar el efecto que tiene el aumento de la temperatura en la superficie terrestre y la disponibilidad del agua en la cuenca que se puede medir en los caudales que discurren en los ríos.

Considerando que, en la cuenca alta del río Santa, las descargas se presentan tal cual ocurren en la naturaleza, en la que confluyen los aportes debidos a la precipitación, a la presencia de lagunas naturales que son regulares temporales, a los glaciares que son reguladores naturales y la presencia de manantiales, se denomina un sistema de cuenca alta no regulado.

Aguas arriba de la estación La Balsa, los caudales no son afectados significativamente por derivaciones de aguas superficiales de las microcuencas, por lo que se asume que los caudales del río principal, provienen directamente de la escorrentía producida por las precipitaciones.

Entonces con la finalidad de conocer en qué medida se observa una relación entre variación del clima, representado por la temperatura y la disponibilidad del recurso hídrico en zonas con presencia de glaciares, representado por los caudales y la precipitación; se propone la presente Tesis. Por lo que nos planteamos la siguiente pregunta:

¿Es posible evaluar la influencia del cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Santa?

1.3 Objetivos:

1.3.1 Objetivo General:

Cuantificar la influencia del cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Santa, mediante el uso de las tendencias y correlaciones entre variación de temperatura con la precipitación y caudales.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Determinar las tendencias de disponibilidad del recurso hídrico por aporte de glaciares y precipitaciones.

- Determinar la correlación entre precipitaciones y aportes glaciares con la temperatura.

1.4 Justificación

La cuenca del río Santa es de particular estudio no sólo nacional sino también internacional debido a la presencia de la mayor área glaciar tropical en el mundo, cuya importancia en la actualidad radica en la regulación de caudales en época de estiaje, así también, el riesgo de avalanchas por encontrarnos en una zona vulnerable con antecedentes catastróficos.

De la información resumida en los antecedentes, se afirma que es evidente el retroceso glaciar por el incremento de la temperatura, que se considera una manifestación del cambio climático y que tiene influencia en la disponibilidad del recurso hídrico que es indispensable para el desarrollo humano.

En el Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas realizadas al año 2014, elaborada por la Autoridad Nacional del Agua en la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, determinan que en 40 años (desde 1070 al 2014) se ha producido una reducción de la superficie de los nevados de la cordillera Blanca en un 42,64%, siendo los más susceptibles los más pequeños. En el caso de lagunas, el 87,38% se han reducido su superficie en menos de 1 km² y en el 12,62% restante una superficie mayor a 1 km² (ANA, 2014, p.15).

La cuenca del río Santa, tiene una gran demanda de agua que está relacionada a la Agricultura de mayor riego como los proyectos Chavimochic en sus dos etapas, Chincas y de menor riego de parcelas, para la generación eléctrica como es el caso de la central hidroeléctrica del Cañón del Pato que sirve a una gran extensión de poblaciones y en sistema interconectado, también aporta para el abastecimiento de agua potable para todas las poblaciones del Callejón de Huaylas, Chimbote y Trujillo,

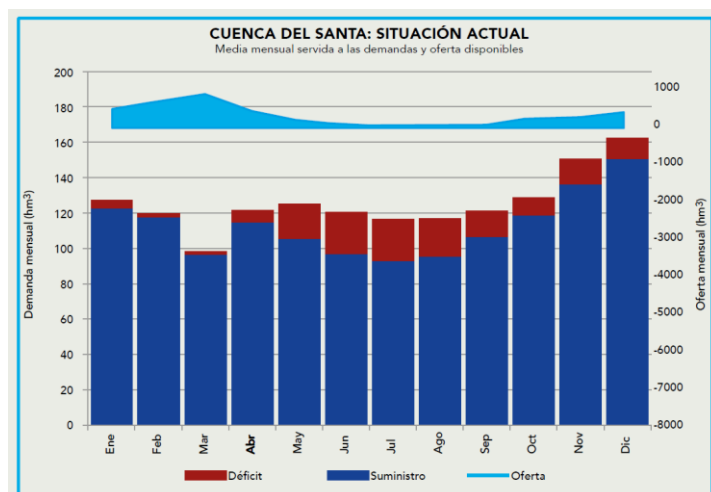
por lo que es importante realizar estudios que permitan proyectar la disponibilidad hídrica de la cuenca del río Santa, como se resume a continuación del estudio de cuencas realizado por el Ministerio de Agricultura, a través de la Autoridad Nacional del agua en 2016.

En el resumen ejecutivo de la *Evaluación de Recursos Hídricos de Doce Cuencas Hidrográficas del Perú* (ANA, 2016), en la cuenca del río Santa: han inventariado la existencia de 04 represas o lagunas repesadas, 05 Centrales Hidroeléctricas, 08 bocatomas principales, 09 canales principales y 56 pozos de explotación de aguas subterráneas. Se han inventariado también 885 ríos o quebradas, 357 lagunas naturales, 367 manantiales, 548 glaciares (62 con una superficie superior a 5 km²). (ANA, 2016, p. 98).

En el balance oferta demanda, ANA (2016) indica que la oferta hídrica total de la cuenca del río Santa es de 4 788,45 hm³/año ($Q_{prom} = 152,85 \text{ m}^3/\text{s}$) con déficits en los meses de estiaje (mayo a noviembre); mientras que la demanda actual es de 1 545,94 hm³ y la demanda futura se estima en 2 990,45 hm³, por lo que se prevé construir presas de 50, 100 y 500 hm³.

Las consideraciones mencionadas muestran la urgente necesidad de realizar estudios del comportamiento de la disponibilidad hídrica, bajo influencia del cambio climático que se traduce en un aumento en la temperatura y variaciones de precipitaciones; de modo que posibiliten tomar las decisiones más acertadas y pertinentes.

En la Figura 1.1, se muestra el balance hídrico 2016 de la Cuenca del Santa, según ANA (2016), en la que se puede observar los déficits de oferta, sobre todo en los meses de mayo a agosto.



Fuente: ANA 2016.

Figura 1.1: Balance hídrico 2016 de la Cuenca del Santa

1.5 Importancia

El Callejón de Huaylas tiene especial interés de estudio, por cuanto el Perú reúne el 25% de masas glaciares del mundo y según el Inventario de Glaciares y Lagunas realizada por la Autoridad Nacional del Agua, al año 2014, la cordillera Blanca concentra el 40% de la superficie glaciaria nacional, por tanto, es la mayor área glaciaria y alberga el 10% de lagunas.

El crecimiento demográfico del país, exige una mayor demanda de agua para su uso en los diversos fines: consumo humano, agricultura, generación eléctrica, etc., que debe ser preocupación del estado. Las aguas del río Santa atienden la demanda de consumo humano tanto para la población del Callejón de Huaylas y Chimbote, como también a la ciudad de Trujillo; en agricultura sirve al Callejón de Huaylas y a dos proyectos de irrigación importantes del país: Chincas y Chavimochic; en generación eléctrica a la Hidroeléctrica del Cañón del Pato que se encuentra en sistema interconectado.

Los motivos expuestos, muestran la importancia de investigar el comportamiento

de la temperatura y su relación con los regímenes de precipitación y las descargas o caudales en la salida de la cuenca alta del río Santa, que es la estación la Balsa.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

1.6 Alcances y Limitaciones

El presente trabajo permite mostrar la influencia que tiene el cambio climático en términos de la variación de la temperatura media mensual respecto a la variación de precipitaciones y caudal disponible en la cuenca alta del río Santa, en el departamento de Ancash.

Las limitaciones principalmente están relacionadas con la disponibilidad de información hidrometeorológica de la zona, pues de las 23 estaciones pluviométricas de la zona de Ancash, actualmente solo registran información limitada las estaciones: Pira, Recuay, Santiago Antúnez de Mayolo (Huaraz) y Yungay, que se reportan al SENAMHI, con gran cantidad de datos faltantes y de las 10 estaciones hidrológicas de la zona, sólo se encuentran en funcionamiento Condorcerro y Parón a cargo de EGENOR.

1.7 Definición de Variables

Las variables que se han considerado para el análisis de la investigación, son las siguientes:

Como variable independiente, se considera el Cambio Climático, que se ha propuesto que se puede expresar como la variación de temperaturas y la variación de las precipitaciones en el período de análisis considerados: 2000 al 2014.

Se ha considerado como variable dependiente, a la Disponibilidad del Recurso Hídrico, que se estudia a partir de la Variación de caudales en la cuenca alta del río Santa medidos en la estación la Balsa y que luego han sido calibradas para expresarlos en cualquier punto de la cuenca.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Teorías Generales Relacionadas con el Tema

Ciclo Hidrológico:

El Programa Hidrológico Internacional (PHI) y la USGS (2016), recuperado de: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html#streamflow>; definen “El ciclo del agua describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella” (USGS, 2016, párr. 2). En ilustración se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1: Ciclo del Agua

Fuente: Illustration by John M. Evans, Howard Perlman, USGS, 2016

Campos (1987), define ciclo hidrológico: “Sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la atmósfera a la tierra y volver a la atmósfera: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación” (Campos, 1987, p.1-4).

Distribución Global del Agua

(USGS, 2016) Ciclo del Agua obtenida del URL, recuperada de la página web:

<http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>

Es importante tener información de la distribución del agua en la tierra. La USGS

Tesis publicada con autorización del autor
presenta la Figura 2.2, que muestra que el sólo el 3% del agua de la tierra es dulce y
No olvide citar esta tesis

UNFV

de ésta el 99.1% está entre capas de hielo, glaciares y agua subterránea y del 0.09% restante el 0.3% es agua superficial disponible y de ésta sólo el 2% se encuentra en los ríos. La USGS indica que 1,386 millones de kilómetros cúbicos (96%) es agua salada y unos 93,100 kilómetros cúbicos son agua dulce que se puede encontrar en lagos (0.007%) y ríos (0.0002%) que es la fuente principal de la nos servimos para todo tipo de vida sobre la tierra. (USGS, 2016, párrafo 49).

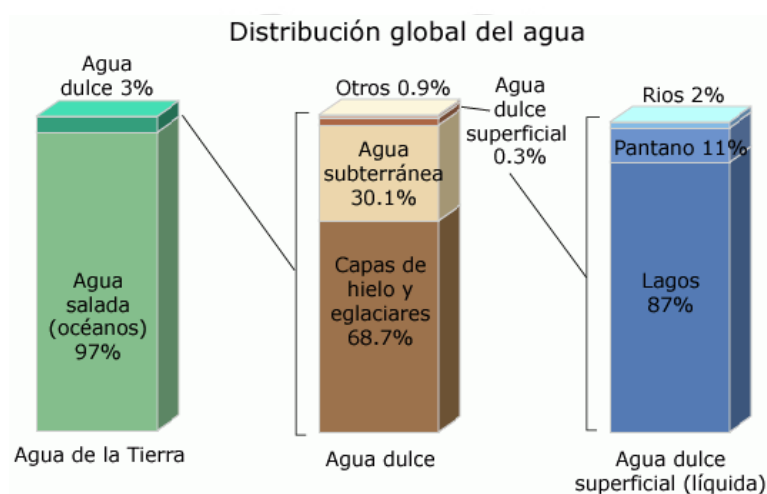


Figura 2.2: Distribución Global del Agua
Fuente: USGS Ciencias del Agua – Recursos Hídricos (2016)

Sistema Hidrológico

Campos (1987) respecto a definición de Sistema Hidrológico afirma “Se puede definir como un conjunto de elementos o procesos físicos unidos a través de alguna forma de interdependencia, que actúa sobre un grupo de variables de entrada para convertirlas en las de salida. En estos sistemas cada uno de los elementos o procesos integrantes es el resultado de complicadas interrelaciones de muchos factores de gran variabilidad espacial y temporal, cuyas características físicas prácticamente no son medibles y por ello no son calculables” (Campos D. F., 1987, pág. 1-6)

2.2 Bases Teóricas Especializadas sobre el Tema

2.2.1 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)

Caicedo (2008), menciona: “El TRMM es una misión entre la NASA y la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) designada para monitorear y estudiar las precipitaciones tropicales. De los 5 sensores con los que cuenta el TRMM, para la medición de lluvia se usan los sensores: radar de precipitación (PR), imágenes de microondas (TMI), escáner del visible y del infrarrojo (VIRS). El TMI cuantifica el vapor de agua, el agua de las nubes y la intensidad de lluvia en la atmósfera (Caicedo, 2008, p.19). (Caicedo, 2008, p.18-19)

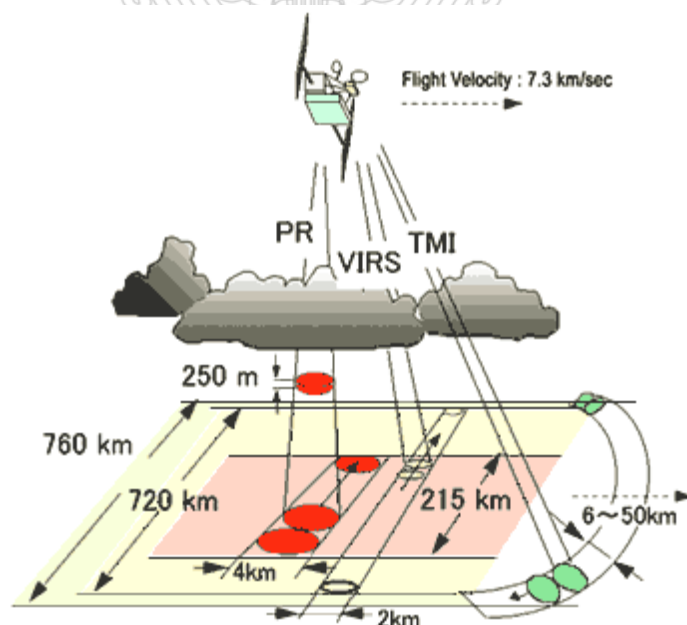


Figura 2.3 Esquema de medición de la lluvia por los diferentes sensores (PR, VIRS, TMI) transportados por el Satélite TRMM

Fuente: www.eorc.jaxa.jp, citado por Caicedo, 2008

2.2.2 GLDAS (Sistema Global de Asimilación de Datos Terrestres)

Land Data Assimilation Systems (LDAS) de la NASA, obtenida de la página web: <https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas/GLDASgoals.php>, resume el objetivo de

GLDAS:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

El objetivo del Sistema Global de Asimilación de Datos Terrestres (GLDAS) es obtener productos de datos de observación basados en satélites y en tierra, utilizando modelos avanzados de modelación de superficie terrestre y técnicas de asimilación de datos, para generar campos óptimos de estados y flujos de superficie terrestre (Rodell et al. Al., 2004a). El software, integra una gran cantidad de datos basados en observaciones y se ejecuta a altas resoluciones (2,5-grados a 1 km), y es capaz de producir resultados en tiempo casi real. Las técnicas de asimilación de datos para la incorporación de productos hidrológicos basados en satélites, incluyendo la cubierta de nieve y el equivalente en agua, la humedad del suelo, la temperatura superficial y el índice de área foliar, se están implementando como parte de un proyecto de seguimiento financiado por el Estudio de Ciclo de Energía y Agua de la NASA. Los campos globales de alta calidad de la superficie terrestre proporcionados por GLDAS apoyan varias predicciones meteorológicas y climáticas actuales y propuestas, las aplicaciones de los recursos hídricos y las investigaciones del ciclo del agua. El proyecto ha dado lugar a un archivo masivo de datos modelados y observados, globales, meteorológicos superficiales, mapas de parámetros y resultados que incluyen una resolución de 1 grado y 0,25 grados desde 1979 al presente (NASA LDAS, Traducido Milla, 2016).

2.2.3 Términos del GIS Usados en el Procesamiento de Información

GEORREFERENCIAR IMÁGENES. -

Para poder utilizar imágenes en un SIG junto a otras capas de información, debemos asignarles unas coordenadas, esto es, georreferenciar las imágenes (Moreno et al, 2016, p.287).

ArcGIS Pro de ESRI, extraída de la dirección web: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/data/imagery/overview-of-georeferencing.htm>, define:

“Las imágenes de satélite modernas y las cámaras aéreas suelen tener una información de ubicación relativamente exacta, pero pueden requerir pequeños ajustes para alinear o georreferenciar los datos ráster en un sistema de coordenadas de mapa.” (ArcGIS Pro, 2017, parr.1).

DIGITALIZACIÓN

Creación de información de tipo digital (en lenguaje informático binario, compuesto por “0” y “1”), que puede ser posteriormente integrada en un SIG, por cuanto contiene coordenadas. La fuente de información puede hallarse impresa en formato papel (digitalización en tableta) o bien ser adquirida en pantalla (digitalización en pantalla) (Moreno et al, 2006, p.884).

TIPOS DE CLASES DE ENTIDAD - VECTORIZACIÓN

Existen siete clases de entidad, los más comunes son los puntos, líneas o polígonos, que son compatibles en las bases de datos y geodatabases (ArcGIS Pro, 2017, parr.16).

MODELO VECTORIAL

El modelo vectorial representa fenómenos geográficos mediante punto, líneas y polígonos y resulta útil para representar entidades geográficas discretas: edificios, carreteras o límites municipales (Moreno et al, 2016, p.254).

Los elementos vectoriales se convierten en objetos cuando su representación se asocia a entidades reales: como una línea puede representar a un río, además podemos guardar determinados atributos de estas entidades reales, como el caudal o su longitud, en bases de datos (Moreno et al, 2016, p.255).

DISSOLVE (DISOLVER)

Geoproceso que permite agrupar los elementos de una capa basándose en un atributo específico de su tabla. Esta operación permite que los nuevos elementos incluyan un sumario de cualquiera de los atributos incluidos en la tabla originaria” (Moreno et al, 2006, p.884).

TIN (MODELO DE RED DE TRIÁNGULOS IRREGULARES).

Moreno et al (2006) define un modelo TIN (Triangulated Irregular Network) como una red de triángulos irregulares, las entidades geográficas tridimensionales son representadas como una red de triángulos irregulares unidos entre sí mediante puntos con valores X, Y y Z. Los TIN son una forma eficiente de almacenar y analizar las superficies” (Moreno et al, 2006, p.255).

DEM (MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN)

La estructura de una imagen es similar a una malla regular, a cuyas celdas se les asigna un número (ND), que se asocia a un color, que conforma la apariencia visual de la imagen. Cada celda representa, no una característica visual del espacio sino por ejemplo la altitud de cada pixel, la pendiente, la orientación u otra característica continua del terreno. Cuando los pixeles representan el valor de altitud hablamos de Modelo Digital de Elevaciones (MDE – en ocasiones MDT en alusión al terreno – o DEM en sus siglas inglesas) (Moreno et al, 2006, p.283).

CLIP (RECORTAR)

Herramienta para recortar una parte de una clase de entidad utilizando una o más de las entidades de otra clase de entidad como molde (ArcGIS, 2015, párr.2).

Cuenca Hidrológica

Unidad física natural, con procesos ambientales, económicos y sociales comunes y constituyen unidades lógicas en las que es posible planear el desarrollo agrícola y socioeconómico de un determinado espacio y tiempo (Quesquén, 2006, p.47).

2.2.4 Modelos Hidrológicos Precipitación - Escorrentía

Llamas (1993) define *modelo* como la representación simplificada de un sistema complejo, ya sea bajo una forma física o matemática, en la cual las respuestas originadas por una serie de sollicitaciones externas son difícilmente previsibles a causa precisamente del gran número de factores que entran en juego (Sánchez, 2001, p.7. referenciado por Llamas, 1993).

Sánchez (2001), menciona que la estimación de la escorrentía, a partir de la precipitación, requiere el uso de modelos que requieren un arduo trabajo, por lo complejo del proceso precipitación-escorrentía y las complicadas interacciones que se generan.

Los modelos matemáticos pueden ser determinísticos o estocásticos. En los determinísticos, las variables vienen determinadas por las leyes físicas consideradas como exactas y que explican toda su variabilidad. En los estocásticos las variables son regidas en todo o en parte por el azar, es decir domina la probabilidad (Sánchez, 2001, p.9. referenciado de Estrella, 1993).

Chunga (2010) argumenta que en la zona sierra de nuestro país es difícil determinar la disponibilidad hídrica de cuenca, debido al déficit de estaciones hidrológicas en las cuencas; por lo que es necesario desarrollar métodos alternativos que permiten estimar los caudales. Propone el uso de un modelo hidrológico determinístico de precipitación – escorrentía denominado Modelo

Hidrológico Distribuido de Generación de Caudales, que permite generar

caudales usando imágenes satelitales, modelos digitales de elevación, datos de precipitación y datos de aforos para la calibración y validación del modelo (Chunga, 2010, p.2).

MODELO DE GENERACIÓN DE DESCARGA

El modelo determinístico de precipitación – escorrentía a nivel mensual, propuesto por PROFODUA denominado DISAPRO I (Disponibilidad de Agua para PROFODUA), se basa en la respuesta de zonas homogéneas de la cuenca, procurando reproducir matemáticamente el fenómeno de transformación de lluvia en descarga, mediante la ecuación del balance hídrico superficial de la cuenca donde algunas de las variables de entrada y salida son determinadas por relaciones paramétricas en forma distribuida a nivel de píxeles (Quesquén, 2006, p.48)

Según Quesquén (2006), durante un evento de precipitación se pueden producir tres tipos de escorrentía: escorrentía directa (Q_d) es la que llega más rápidamente hasta la salida de la cuenca; la escorrentía subterránea que es más lenta y es el que alimenta a las corrientes en épocas de estiaje, por lo que se denomina flujo o caudal base (Q_b) y la escorrentía subsuperficial (Q_s) que puede ser rápida como la superficial o lenta como la subterránea, dependiendo de la permeabilidad de los estratos superiores del suelo.

CAUDAL DE ESCURRIMIENTO

Con la finalidad de entender la relación existente entre caudal de escurrimiento y precipitación, se expone la ecuación que representa la distribución de la precipitación que cae en una cuenca:

$$X_{(v,t)} + R_n = aX_{(v,t)} + bX_{(v,t)} + cX_{(v,t)}$$

$X_{(v,t)}$: es la precipitación que cae en una cuenca en un espacio v y tiempo t .

$E_v = aX_{(v,t)}$: es la proporción a de la precipitación, que se evapora

$I_v = bX_{(v,t)}$: es la proporción b , de la precipitación que se infiltra

$E_s = cX_{(v,t)}$: es la proporción c , de la precipitación que es el escurrimiento superficial, que también puede expresarse como $cX_{(v,t)} = X_{(v,t)}(1 - a - b)$, donde $c = 1 - a - b$, se define como el *Coefficiente de Escorrentía*.

Por otro lado, el caudal que llega al río está compuesto por el caudal de escorrentía directa más una parte del flujo que se infiltra denominado caudal base:

$$Q = Z_{(v,t)} = cX_{(v,t)} + d(bX_{(v,t-1)})$$

Donde:

$Z_{(v,t)}$: es la escorrentía en el río en un espacio v y tiempo t .

$cX_{(v,t)} = Q_d$: es la escorrentía directa

$d(bX_{(v,t-1)}) = Q_b$: es el flujo o caudal base, que es una proporción d , de la precipitación que se infiltra en un tiempo atrás $t-1$.

Por tanto el caudal total que discurre por la cuenca, se puede expresar como:

$$Q = Q_d + Q_b$$

Para determinar el caudal de escurrimiento directo $Q_d = cX_{(v,t)}$ es necesario calcular el valor de c , que en adelante lo denominaremos como *Coefficiente de Escurrimiento (CE)* y multiplicar por la precipitación en cualquier punto de la cuenca (Quesquén, 2006, p.50).

Para obtener *CE* se tomará en cuenta la cobertura vegetal, la pendiente del terreno y la existencia o no de nevados.

El flujo o caudal base (Q_b), se determina a partir del caudal mínimo registrado en la estación de aforo y que corresponde al período de estiaje.

Para validar los cálculos de caudales obtenidos a partir de la precipitación es necesario realizar la calibración y Validación del modelo, que se realiza con datos registrados en estaciones de aforos existentes.

2.2.5 Información de Imágenes LANDSAT

Para determinar los coeficientes de escorrentía, se toman en cuenta la pendiente del terreno, el tipo de cobertura vegetal y la existencia o no de nevados, para cuyo fin se van a utilizar imágenes Landsat, que se pueden descargar desde la *USGS Global Visualization Viewer: Site Description* (Visor Global de Visualización USGS), que se encuentra en la dirección web siguiente:

<https://glovis.usgs.gov/ImgViewerHelp.shtml#SiteDescription>,

El Visor Global de Visualización USGS (GloVis) es una herramienta en línea de búsqueda rápida, fácil y ordenada para los datos de satélite y aéreas seleccionado. El visor permite el acceso amigable al usuario para navegar por las imágenes de datos múltiples de terrenos *Earth Resources Observation and Science Center* (EROS) (Centro de Observación y Ciencia de los Recursos Terrestres). A través de una pantalla gráfica de mapa, el usuario puede seleccionar cualquier área de interés y ver todas las imágenes disponibles del navegador para imágenes dentro del inventario USGS para una ubicación especificada. GloVis también ofrece características adicionales, tales como los límites de cobertura de nubes, límites de fechas, pantalla de mapa de capas especificadas por el usuario, mantenimiento de la lista de escenas, y el acceso a los metadatos. Provee una interfaz de descarga para conjuntos de datos que están disponibles sin costo alguno (USGS, 2017, párr.1).

2.2.6 Calibración de Modelos Hidrológicos Precipitación - Escorrentía

Según Cabrera (2012), la calibración consiste en determinar los valores de los parámetros que intervienen en un modelo, que indiquen que los valores simulados con el modelo se ajusten a los valores medidos. Existen muchos métodos para determinar la bondad de ajuste, entre ellos:

a. Coeficiente de calibración (r)

Según Cabrera (2012): “Expresa la dependencia lineal entre dos variables que, en nuestro caso, son los caudales observados y los caudales simulados” (p.4):

$$r = \frac{S_{obs,sim}}{\sqrt{S_{obs}S_{sim}}}$$

$S_{obs,sim}$ definido por Cabrera (2012) como “la covarianza sin sesgo entre los caudales observados y simulados” (p.4); y se expresa por:

$$S_{obs,sim} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})(Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})$$

Según Cabrera (2012) “Y S_{obs} y S_{sim} son las varianzas sin sesgo de los caudales observados y simulados respectivamente” (p.5)

$$S_{obs} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \text{ y } S_{sim} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})^2 \text{ (Cabrera, 2012, p.5).}$$

Donde los valores con barras son valores medios y n es la cantidad de datos simulados. (Cabrera, 2012, p.5).

Según Cabrera (2012) “El coeficiente de correlación puede tomar valores entre $0 < r < 1$: a mayor valor de r , mejor ajuste”. (Cabrera, 2012, p.5).

b. Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E)

La eficiencia de Nash-Sutcliffe (E), representa la variabilidad de las observaciones respecto a la simulación y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$$

En la Tabla 2.1, se muestra el grado de ajuste de las observaciones, basado en los valores de E. El valor de E = 1 es una simulación perfecta.

Tabla 2.1

Grado de ajuste de las observaciones en función de E

E	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2 - 0.4	Satisfactorio
0.4 - 0.6	Bueno
0.6 - 0.8	Muy bueno
>0.8	Excelente

Fuente: Molnar, 2011, citado por Cabrera, 2012

c. Raíz del error cuadrático medio (RMSE)

Según Cabrera (2012): “La raíz del error cuadrático medio permite cuantificar la magnitud de la desviación de los valores simulados respecto a los observados” (p.7).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_i)^2}{n}}$$

RMSE varía de cero hasta infinito (positivo). El valor cero significa que el ajuste es perfecto y valores más grandes indican un menor ajuste (Cabrera, 2012, p.7).

d. Criterio de Bias o Desviación Relativa de los Caudales

El sesgo o Bias o desviación relativa de los caudales *Bias*, se obtiene de (Weglarczyk 1988, citado por Centro de Cambio Global UC, 2009, p.65).

$$Bias = \frac{\sum_{n=1}^i (Q_{sim} - Q_o)}{\sum_{n=1}^i Q_o}$$

Según Weglarczyk (1988), citado por Centro de Cambio Global UC, (2009), indica: “Bias: entre menor el porcentaje de Bias, mejor la correspondencia entre los datos observados y simulados. Un Bias positivo indica sobre estimación y un Bias negativo indica sub-estimación de caudales” (p.66).

2.3 **Marco Conceptual.** Definición de Términos.

Cambio climático

Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo (IPCC, 2013, p.188).

Escorrentía

Parte de la precipitación que no se evapora ni es transpirada, sino que fluye a través del terreno o sobre su superficie y retorna a las masas de agua (IPCC, 2013, p.192).

Glaciar

Masa permanente de hielo sobre tierra originada por nieve comprimida; muestra evidencias del flujo pasado y presente (mediante deformación interna y/o deslizamiento de su base) y está constreñido por el estrés interno y por el rozamiento de su base y de sus lados. Los glaciares se mantienen por la acumulación de nieve en grandes altitudes, compensada por la fusión en altitudes bajas y por la descarga vertida

al mar. Una masa de hielo con el mismo origen que los glaciares, pero de tamaño

Correlación:

La correlación, se define como la asociación entre dos o más variables aleatorias, que explica solo parcialmente la variación total de una variable aleatoria, por la variación de otras variables aleatorias involucradas en la ecuación de asociación. (Villón, 2002, p.224).

Coefficiente de Correlación

El coeficiente de correlación, es el estadístico que permite medir el grado de asociación de dos variables linealmente relacionados (Villón B, 2002, p.225-226).

Para el caso de una muestra se define como:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n S_x S_y} = \frac{\sum xy - n \bar{x} \bar{y}}{n S_x S_y}$$

Donde:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}} ; \quad S_y = \sqrt{\frac{\sum(y - \bar{y})^2}{n}}$$
$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} ; \quad \bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

Valores de r entre -1 y 1 describen los varios grados de asociación,

2.4 Hipótesis

El efecto del cambio climático sobre la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Santa; se puede analizar, a partir de las correlaciones y tendencias de las variables hidrometeorológicas: temperatura, precipitaciones y caudales.

CAPITULO III

MÉTODO

3.1 Tipo

Para las condiciones indicadas en el planteamiento del problema, los objetivos y la hipótesis, el enfoque de la investigación es CUANTITATIVO, pues hemos seguido un conjunto de procesos que está planteado como secuencial y probatorio y que luego nos permita explicar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos.

El alcance o tipo de la investigación es CORRELACIONAL, porque nos ha permitido explicar la relación entre variables y cuantificar relaciones entre las variables consideradas. Además, nos ha permitido conocer la relación o grado de asociación que existe entre las variables consideradas en el contexto del cambio climático. En este caso sólo se analiza la relación entre dos variables: precipitación con la temperatura y caudales con temperatura y nos permite analizar el comportamiento y analizar su vinculación.

3.2 Diseño de Investigación

La investigación correlacional tiene, en alguna medida, un valor explicativo, aunque parcial, ya que el hecho de saber que dos conceptos o variables se relacionan aporta cierta información EXPLICATIVA.

Para los fines del presente estudio, el diseño de investigación entendida como plan o estrategia concebida para obtener la información es del tipo NO EXPERIMENTAL, pues las variables independientes ocurren en la naturaleza y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir sobre ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos. El diseño es LONGITUDINAL.

o EVOLUTIVO de TENDENCIA (Trend), pues tiene como propósito analizar los cambios a través del tiempo (en categorías, conceptos, variables o sus relaciones).

3.3 Estrategia de Prueba de Hipótesis

Para probar la hipótesis que se planteó en la presente investigación, se ha seguido la siguiente estrategia:

1. Se determina la correlación: Precipitación – Temperatura, usando valores promedio mensuales entre los años 2000 y 2014, que son el resultado del procesamiento de información usando el GIS y en la que se ha usado información obtenida del TRMM y GLDAS;
2. Se determina la correlación: Caudal – Temperatura, con datos mensuales de los años 2000 al 2014, obtenidos luego de procesar la información obtenida del GLDAS para temperatura y que han sido procesados con el GIS y para los datos de caudal, se usarán los datos obtenidos de modelamiento y calibración de los modelos hidrológicos de precipitación – escorrentía.

Para la prueba de la hipótesis, se realiza un Análisis de Regresión, que es una técnica determinística que permite determinar la naturaleza de la relación funcional entre dos o más variables, permite predecir los valores de $y = f(x)$ con un cierto grado de aproximación (Villón, 2001, p.226-229).

Para el análisis de regresión, entre precipitación – temperatura y caudal – temperatura, se ha seguido la metodología propuesta por Villón (2001), como se resume a continuación:

1. Para ambos casos la función de relación correlativa es simple y lineal ($y = a+bx$).
2. Se obtienen los parámetros r^2 y r , que miden el grado de asociación correlativa.
3. Se realiza la prueba de **significancia** de los estadísticos que miden la relación

correlativa simple y lineal, aplicando la prueba estadística t , que se basa en:

a. Se plantean las siguientes hipótesis:

H_0 : Hipótesis Nula, cuando $\rho = 0$ (donde ρ es el coeficiente de correlación poblacional y su valor varía entre -1 y 1)

H_a : Hipótesis Alternativa, cuando $\rho \neq 0$.

b. Se obtiene el valor de “ t ” calculado (t_c)

$$t_c = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Donde:

r = coeficiente de correlación

n = número de pares de valores

c. Se calcula el valor de “ t ” tabular (t_t)

El t_t se obtiene de tablas o con fórmulas estadísticas de hojas de cálculo, con un nivel de significación α o una probabilidad $(1 - \alpha)$, y con un grado de libertad ($v = n - 2$), donde n es el número de pares de valores. Para nuestro caso se debe usar una probabilidad de 95%, es decir $(1 - \alpha) = 0.95$ y con un nivel de significancia de 0.05, Villón (2001)

d. Para la aceptación de la hipótesis, se usa el siguiente Criterio de decisión:

- Si $|t_c| \leq t_t$, se acepta la hipótesis nula, por lo que $\rho = 0$ y por lo tanto no hay correlación significativa.
- Si $|t_c| > t_t$ se rechaza la hipótesis nula, por lo que $\rho \neq 0$ indicándose que es significativo y por lo tanto existe correlación entre las variables.

3.4 Variables

Operacionalización de Variables.

Variables e Indicadores de la Investigación

Tesis publicada con autorización del autor
Variable Independiente: X
No olvide citar esta tesis

UNFV

El Cambio Climático, se estudia a partir de los siguientes Indicadores:

X_1 – Variación de temperaturas

X_2 – Variación de Precipitaciones

Variable Dependiente: Y

La Disponibilidad del Recurso Hídrico, se estudia a partir del siguiente indicador:

Y_1 - Variación de caudales en la cuenca

3.5 Población

El universo de la investigación está conformado por las cuencas del departamento de Ancash con presencia de glaciares.

3.6 Muestra

La selección de la muestra ha sido no probabilística o dirigida y se ha elegido la cuenca alta del río Santa, pues se ajusta a las características de la investigación.

Cuenca Santa

La cuenca del Santa tiene una superficie de 11 661 km², limita al Norte con las cuencas de los ríos Chao, Viru, Moche, Crisnejas y Alto Marañón; por el Sur con las cuencas de los ríos Fortaleza y Pativilca; por el Este con la cuenca del río Alto Marañón; y por el Oeste con las cuencas de los ríos Lacramarca, Nepeña, Casma, Huarmey y el Océano Pacífico (ANA, 2016, p.97).

Según ANA (2009), la cuenca del Santa dentro de la Región Hidrográfica del Pacífico se clasifica como la Unidad Hidrográfica N° 43, y se le ha asignado como código 1376, cuya ubicación se muestra en la Figura 3.1.

3.7 Técnicas de Investigación

Las principales técnicas que se utilizaron en la investigación fueron:

- Obtención de 180 imágenes mensuales en el periodo 2000-2014 (12 meses x 15 años) de precipitación del TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) de la

NASA, en formato KML que contiene curvas de precipitaciones iguales, los cuales se pueden visualizar con el Google Earth.



Figura 3.1: Mapa Hidrográfico del Perú

Fuente: Ministerio de Agricultura – Autoridad Nacional del Agua, 2009

- Obtención de 180 imágenes mensuales en el periodo 2000-2014 (12 meses x 15 años) de temperatura del GLDAS (Global Land Data Assimilation System) de la NASA, en formato KML que contiene curvas de temperaturas iguales, los cuales se pueden visualizar en el Google Earth.
- Procesamiento con Toolbox y Model Builder de las 360 imágenes TRMM y GLDAS, usando el GIS, previa georreferenciación de imágenes para obtener datos de precipitación y temperatura mensuales para los años 2000 al 2014.
- Observación.

3.8 Instrumentos de Recolección de Datos

Los instrumentos de recolección de datos usados para el presente trabajo han sido:

- Para el caso de obtención de información temporal y espacial de precipitaciones se han usado las imágenes descargadas de los Instrumentos de la Misión de Medición de Lluvias Tropicales - TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) de la NASA; PR, TMI y VIRS que son sensores para la medición de la lluvia.

- Para datos de temperatura, se han usado las imágenes obtenidas por los instrumentos de medición de satélites del Sistema de Asimilación de Datos de Tierra Global GLDAS (Global Land Data Assimilation System) de la NASA, que produce datos basados en las observaciones satélite – tierra.
- La información de caudales medios mensuales históricos o registrados, se han obtenido de mediciones de caudales realizados por EGENOR en la estación hidrométrica de la Balsa.
- Para la calibración del modelo: Escorrentía – Precipitación, en la que intervienen la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y la cobertura de nieve se han usado imágenes LANDSAT, de la NASA.
- Para la determinación de correlaciones y tendencias, se han usado instrumentos como la estadística y guía de análisis documental.

3.9 Procesamiento y Análisis de Datos

3.9.1 Descarga de datos satelitales en formato KMZ (2000-2014)

Para la obtención de las imágenes de TRMM, se ha usado el sistema de visualización y análisis en línea del TRMM (TRMM Online Visualization and Analysis System), que se realiza a través de la interfaz de usuario de GIOVANNI, en la que es posible encontrar y visualizar fácilmente datos seleccionados sobre un plano. El entorno Giovanni, es un puente entre Datos y Ciencia, el que se ha usado es la versión 4.19, cuyo enlace es:

<https://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=TmAvMp&starttime=&endtime=&bbox=-180,-90,180,90&variableFacets=dataProductPlatformInstrument%3ATRMM%3B>

Al ingresar al enlace indicado, se abre la pantalla con información que se

muestra en la Figura 3.2.

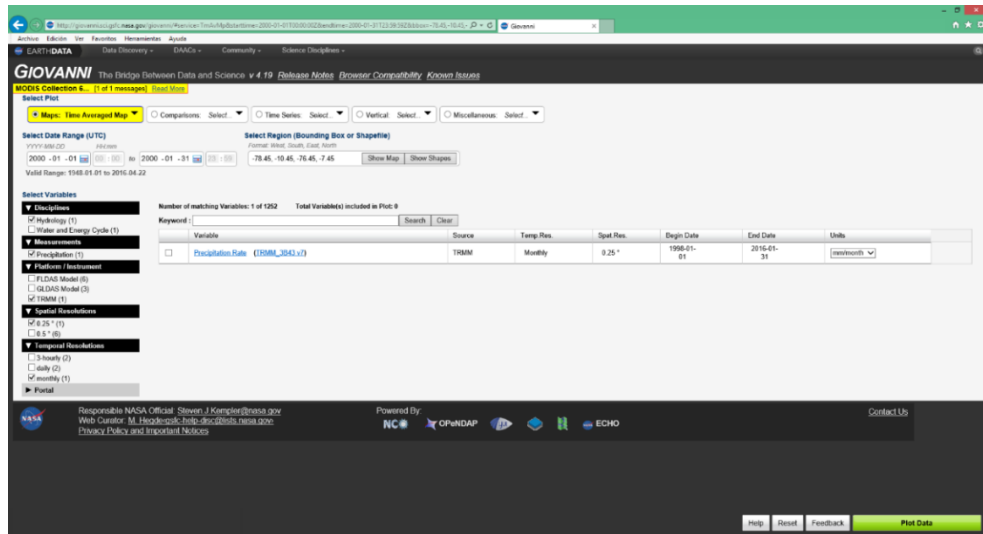


Figura 3.2 Pantalla del entorno GIOVANNI, con variables seleccionadas
Fuente: Elaboración Propia

La pantalla tiene 4 zonas de ingreso de información: Zona 1: *Select Plot* (Seleccionar Ploteo): seleccionar *Map* (mapa) de distribución de precipitaciones. Zona 2: *Select Date Range (UTC)* (Selección del Rango de Fecha): Poner rango de fecha, en nuestro caso enero 2000. Zona 3: *Select Region (Bounding Box or Shape)* (Seleccionar Región (Cuadro de Bordes o forma): Ingresar las coordenadas en formato: Oeste, Sur, Este y Norte; para la zona de la cuenca alta del río Santa, las coordenadas ingresadas fueron: -78.45, -10.45, -76.45, -7.45. Zona 4: *Select Variables* (Seleccionar variables) del lado izquierdo, se seleccionaron las siguientes opciones:

Disciplines (Disciplinas): *Hydrology* (104)

Measurements (Medidas): *Precipitation* (104)

Platform/Instrument (Plataforma/Instrumento): *TRMM* (11)

Spatial Resolutions (Resolución Espacial): *0.25°* (22)

Temporal Resolutions (Resolución Temporal): *monthly* (1)

Tabla 3.1

Selección de variables en el Giovanni, de datos de precipitación TRMM

Fuente: Elaboración Propia, traducida por el autor.

	Variable	Fuente	Resolución Temporal	Resolución Espacial	Fecha Inicio	Fecha Final	Unidades
<input checked="" type="checkbox"/>	Tasa de Precipitación (TRMM_3B43 v7)	TRMM	Mensual	0.25 °	1998-01-01	2016-01-31	mm/ month

En la parte inferior de la pantalla hacer click en Plot Data y en la pantalla del entorno de Giovanni se muestra la imagen de precipitaciones para la zona seleccionada, que como ejemplo para el mes de enero 2000 se muestra en la Figura 3.3.

Para el caso de datos de temperatura, los datos medios mensuales se han obtenido del GLDAS (Global Land Data Assimilation System) para lo cual se ha usado la interfaz de usuario de GIOVANNI versión 4.19. Al ingresar al enlace <http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service>, se ingresa a la pantalla que se observa en la Figura 3.4, en la que se muestra la pantalla de ingreso de variables en el entorno Giovanni para temperaturas del mes de enero 2000, para la zona seleccionada, que son semejantes a los de precipitación (TRMM).

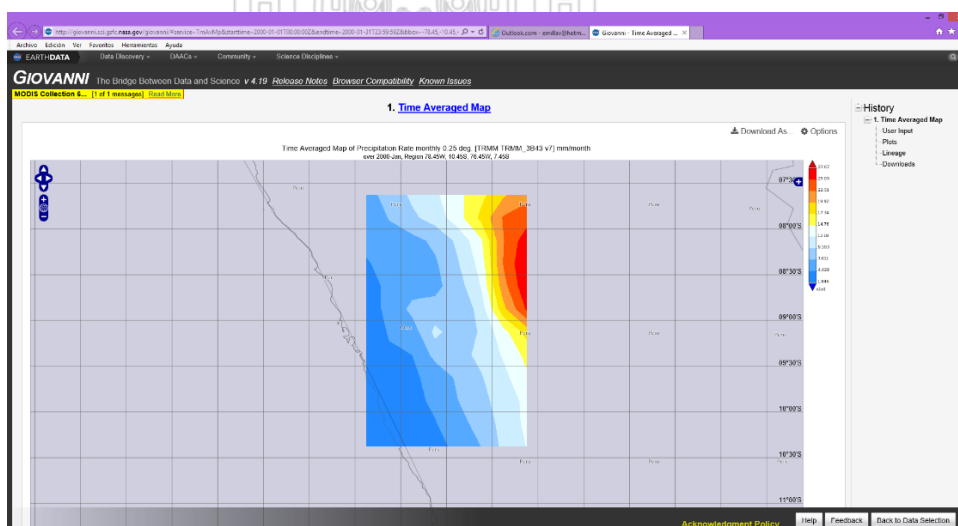


Figura 3.3: Pantalla de Giovanni con datos de precipitación enero 2000.

Fuente: Elaboración Propia

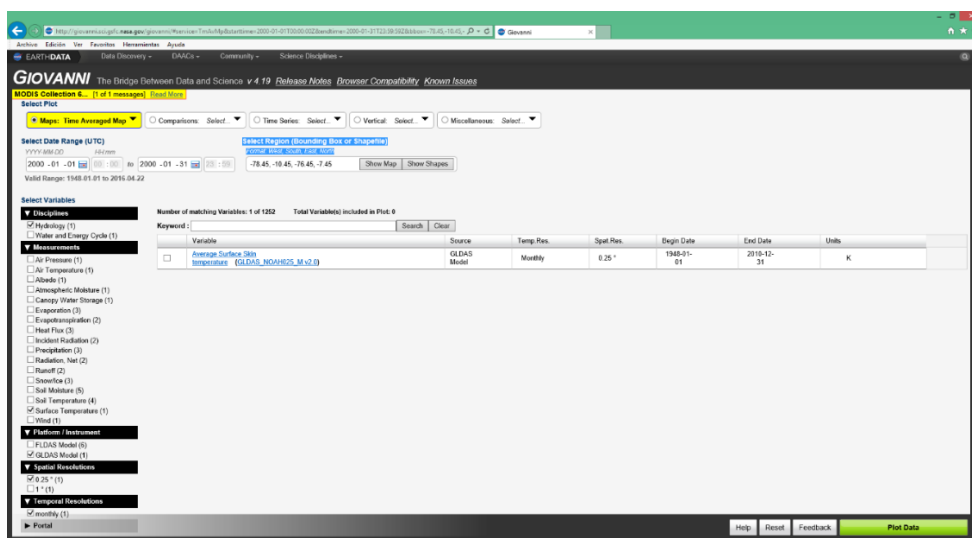


Figura 3.4: Pantalla de Giovanni con datos de temperatura enero 2000
Fuente: Elaboración Propia

Average Surface Skin temperature (GLDAS_NOAH025_M v2.0)

Las variables seleccionadas son las que se indican a continuación:

Pantalla de datos seleccionados, se han elegido las siguientes opciones:

Disciplines: Hydrology (1004)

Measurements: Surface Temperature (49)

Platform/Instrument: GLDAS Model (191)

Spatial Resolutions: 0.25° (1)

Temporal Resolutions: monthly (1)

Las variables seleccionadas se muestran en la Tabla 3.2

Tabla 3.2

Selección de variables en el Giovanni, de datos de Temperatura GLDAS

Fuente: Elaboración Propia, traducida por el autor

	Variable	Fuente	Resolución Temporal	Resolución Espacial	Fecha Inicio	Fecha Final	Unidades
<input checked="" type="checkbox"/>	Temperatura promedio en la superficie (GLDAS_NOAH025_M v2.0)	Modelo GLDAS	Mensual	0.25 °	1948-01-01	2010-12-31	K

Se han descargado las imágenes desde la interfaz Giovanni, que se

encuentran en formato KMZ y contienen zonificación en rangos de precipitación

Tesis publicada con autorización del autor

No olvide citar y temperatura con una leyenda de valores. Este proceso se ha realizado para cada



mes y año considerados: 2000 al 2014; por tanto, se han obtenido 180 imágenes de precipitación y 180 imágenes de temperatura.

3.9.2 Procesamiento en ArcGIS

Los archivos en formato KMZ, obtenidos del TRMM y GLDAS, se abren en Google Earth Pro y se guardan en formato de imagen (.JPG) que contienen puntos de referencia y la leyenda que indica los rangos de valores de precipitación (Figura 3.5) y de temperatura (Figura 3.6) asignados a los colores de las imágenes.

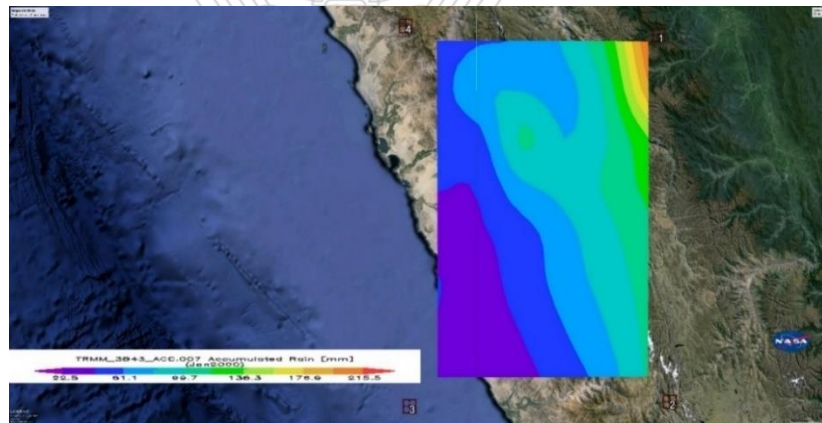


Figura 3.5: Imagen de precipitación enero 2000, abierto en Google Earth Pro.
Fuente: Elaboración Propia

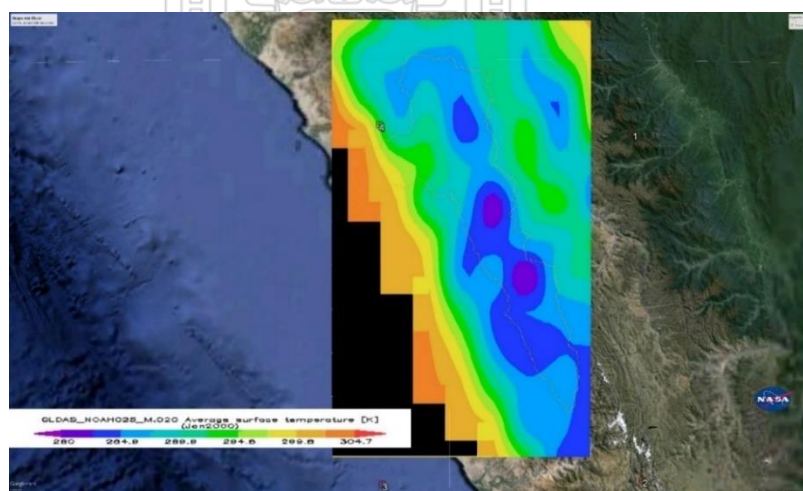


Figura 3.6: Imagen de Temperatura enero 2000, abierto en Google Earth Pro.
Fuente: Elaboración Propia

Los archivos almacenados en formato jpg, se abren en el ArcGIS para primeramente georeferenciar la imagen con las coordenadas de la cuenca, para luego vectorizar los elementos usando polilíneas. Luego se obtuvieron los límites de la precipitación y Temperatura digitalizados, sobre las que se han asignado valores a las polilíneas de acuerdo a la leyenda obtenida de los archivos de imágenes TRMM y GLDAS y con la finalidad de acelerar los procesos, se ha empleado un Model Builder, con la opción Dissolve, cuyo flujo de trabajo para el mes de enero 2000; a modo de muestra se indica en la Figura 3.7.



Figura 3.7 Model Builder dissolve de temperatura.

Fuente: Elaboración Propia

El resultado del proceso del Model Builder dissolve de temperatura se muestra en la tabla de atributos de la Tabla 3.3.

Tabla 3.3

Ejemplo de Tabla de Atributos (Features) de las polilíneas de Temperatura

Fuente: Elaboración Propia

ID OBJETO*	FORMA *	T °K	Long_FORMA
1	Polilínea	297.3	413061.0404
2	Polilínea	294.8	440552.85
3	Polilínea	292.35	652759.6981
4	Polilínea	289.9	928260.8154
6	Polilínea	287.4	848638.6943
7	Polilínea	284.9	598933.1291
9	Polilínea	282.45	132033.6372
22	Polilínea	299.8	343810.2257
25	Polilínea	304.7	51597.02055
27	Polilínea	302.25	36397.89205
28	Polilínea	302.25	37905.73867
29	Polilínea	302.25	38466.00442

Con la finalidad de obtener información de temperatura en cualquier punto de la cuenca, se ha realizado la Rasterización de las imágenes digitalizadas, para cuyo fin se ha aplicado un Model Builder para los datos vectorizados (12 meses y 15 años=180 mapas raster).

Para el caso de Temperatura

Se ha creado un campo "T_C" en la tabla de atributos de cada Features y luego se ha calculado el Campo "T_C", que permite la transformación de grados Kelvin a grados Celsius, como se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4

Tabla de atributos con temperatura en grados Celsius

Fuente: Elaboración Propia

ID. OBJETO	FORMA *	T °K	Long. FORMA	T °C
1	Polilínea	282.45	132033.637	9.3
2	Polilínea	284.9	598933.129	11.75
3	Polilínea	287.4	848638.694	14.25
4	Polilínea	289.9	928260.815	16.75
5	Polilínea	292.35	652759.698	19.2
6	Polilínea	294.8	440552.85	21.65
7	Polilínea	297.3	413061.04	24.15
8	Polilínea	299.8	343810.226	26.65
9	Polilínea	302.25	112769.635	29.1
10	Polilínea	304.7	51597.0206	31.55

Las imágenes digitales, se convierten a modelos digitales de elevación (DEM), para cada mes con archivo de salida (dem_T_mes_año), como se muestra en la Figura 3.8 del mes de enero del 2000.

Los modelos de elevación digital (DEM) son para el área ingresada en el Giovanni, es necesario recortar la imagen para la cuenca del Santa, para lo cual se ha realizado un clip (recorte) al raster, cuyo nombre de salida es T_mes_año_Santa, como se muestra en la Figura 3.9

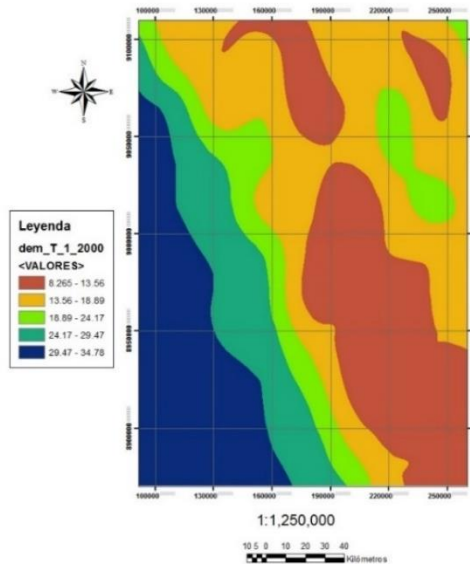


Figura 3.8 Interpolación "Topo to Raster", para el mes de enero con archivo dem_t_1_2000.

Fuente: Elaboración Propia

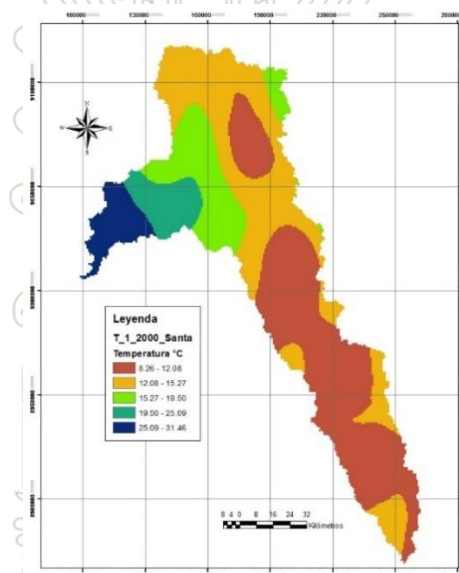


Figura 3.9 Clip al raster en base a la cuenca del Santa, para enero del 2000 (T_1_2000_Santa.tif).

Fuente: Elaboración Propia

Luego se aplicó nuevamente un clip (recorte) al raster, esta vez reduciendo a la zona de trabajo, la cuenca alta del río Santa, que para fines de proceso lo denominamos estación la Balsa, por ser el punto de descarga de la escorrentía de la cuenca. El nombre de salida de los archivos es: T_mes_año_Balsa, como se

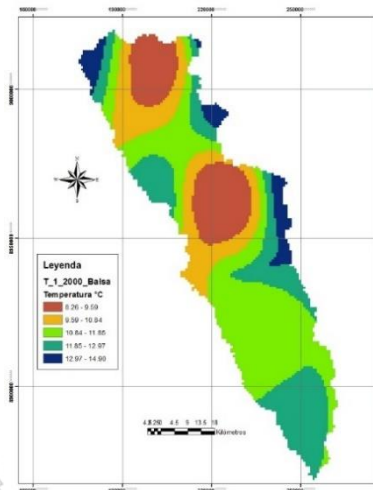


Figura 3.10 Clip al raster en base a la delimitación hasta la estación la Balsa (T_1_2000_Balsa.tif)
Fuente: Elaboración Propia

Dado a que los rangos de valores de temperatura, son muy variables por la proveniencia de la información del GLDAS, es necesario reclasificar los rangos de temperatura en sólo un grado Celsius, con nombre de salida Cla_T_mes_año, como se muestra en la Figura 3.11

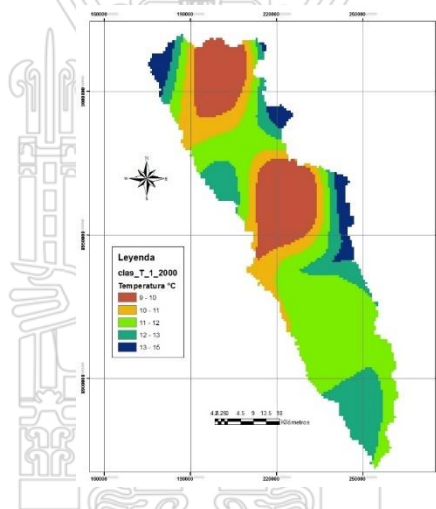


Figura 3.11 Reclasificación de raster cada 1°C para el mes de enero con nombre: Clas_t_1_2000
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se ha creado un raster con los valores promedio por rango, cuyo nombre es: T_mean_mes_año, como se muestra en la Figura 3.12.

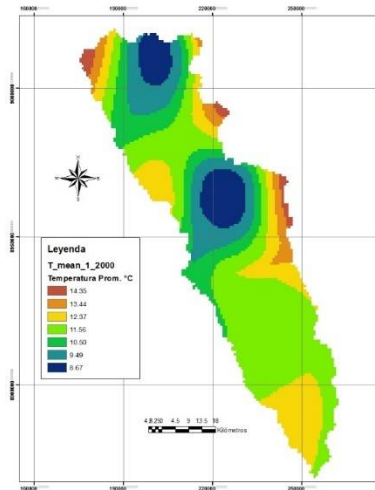


Figura 3.12: Raster con los valores promedio de temperatura por rango, para el mes de enero (T_mean_1_2000)
Fuente: Elaboración Propia

La información del proceso obtenido, se ha enviado a una tabla de atributos, con nombre: Tabla_mes_año, como se muestra en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5
Tabla de atributos del mes de enero 2000: Tabla_1_2000)
Fuente: Elaboración Propia

ID Fila	VALOR	CONTAR	AREA	MIN	MAX	RANGO	PROMEDIO	DESV.EST.	SUMA
1	9	702	409881385	8.26350975	8.99842453	0.73491478	8.67111625	0.19505195	6087.12361
2	10	1014	592050889	9.00017262	9.99794102	0.9977684	9.49209185	0.29125468	9624.98114
3	11	1200	700651939	10.0001259	10.9999237	0.99979782	10.5001246	0.29653737	12600.1495
4	12	3308	1931463847	11.000906	11.9996662	0.99876022	11.5641511	0.25915623	38254.2118
5	13	1518	886324703	12.0000772	12.999651	0.99957371	12.3662863	0.25663824	18772.0226
6	14	318	185672764	13.0006466	13.9910679	0.9904213	13.4356862	0.27777745	4272.54821
7	15	131	76487836.7	14.0025024	14.8997307	0.89722824	14.3489626	0.22032242	1879.71411

Con la finalidad de obtener la información de temperaturas en las estaciones meteorológicas, que se encuentran dentro del ámbito de la cuenca alta del río Santa, tales como: Huaraz, Recuay, Yungay y Milpo; se ha ingresado la información de latitud, longitud y altitud de las estaciones en mención, como se muestra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6

Tabla de atributos de las estaciones meteorológica en la cuenca alta del río Santa

Fuente: Elaboración Propia

ID OBJETO	Id Estación	Nombre	Cuenca	País	Latitud	Longitud	Altitud
1	2	HUARAZ	Santa	PERU	-9.49277778	-77.5136111	3529
2	3	RECUAY	Santa	PERU	-9.72	-77.45	3553
3	1	YUNGAY	Santa	PERU	-9.1525	-77.7411111	3562
4	4	MILPO	Santa	PERU	-9.88	-77.23	3566

A la información de la tabla anterior, se ha adicionado un campo a la tabla de atributos de las estaciones, cuyo nombre tiene el siguiente formato T_año;

Usando un Model Builder, se ha calculado el campo en la tabla de atributos mediante "Add Surface Information" y luego se ha enviado toda la información a una hoja de Excel, cuyo nombre tiene la forma de: T_Resumen_Temperatura_mes, como se muestra en la Tabla 3.7 para el mes de enero.

Tabla 3.7

Tabla de atributos, del archivo T_Resumen_Temperatura_enero

Fuente: Elaboración Propia

Sub_Zona	Distrito	Localidad	CORDILLERA	Z
Ancash	Independencia	Huaraz	Blanca	8.66828744
Ancash	Recuay	Recuay	Blanca	8.87448262
Ancash	Yungay	Yungay	Blanca	8.65622346
Ancash	Catac	Recuay	Blanca	8.94638887

T ° C 2000	T ° C 2001	T ° C 2002	T ° C 2003	T ° C 2004	T ° C 2005	T ° C 2006
9.39461965	8.66828744	9.68198518	10.7080535	10.731046	10.9469454	9.61854059
11.3679808	8.87448262	9.87414554	10.8298489	10.9391048	11.0112931	9.77415151
10.5864442	8.65622346	9.86771119	10.4916976	10.6993796	10.7548661	9.55584253
11.8016066	8.94638887	10.0530355	10.8522378	10.9797952	11.1098885	10.7072562

T ° C 2007	T ° C 2008	T ° C 2009	T ° C 2010	T ° C 2011	T ° C 2012	T ° C 2013	T ° C 2014
10.1798227	9.58795207	9.96637251	10.7565125	7.66503373	8.14691692	8.35712948	8.22121509
10.3264169	9.83798305	10.048189	10.7547602	8.2324765	8.55964586	8.7366091	8.58486374
10.1462111	9.59421168	9.74344582	10.6785178	6.18811035	7.79657171	8.55091613	8.3128521
10.3799891	9.91573413	10.26259	10.8965541	9.43935724	10.4665216	10.2435861	9.74752553

El proceso se ha repetido para cada mes del año, por tanto, existen 12 modelos y cada uno contiene a los 15 años analizados, del 2000 al 2014.

Precipitación

Las imágenes digitales, han sido convertidas luego a modelos digitales de elevación (DEM), para cada mes, con nombre de archivo de salida: dem_pp_mes_año, como se muestra en la Figura 3.13 del mes de enero del 2000.

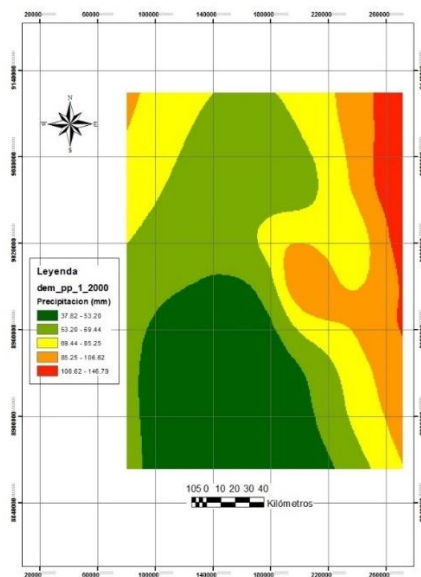


Figura 3.13 Interpolación "Topo to Raster" de precipitación para el mes de enero con archivo (dem_pp_1_2000)

Fuente: Elaboración Propia

Los modelos de elevación digital (DEM) son para el área ingresada en el Giovanni, es necesario recortar la imagen para la cuenca del Santa, para lo cual se ha realizado un clip (recorte) al raster, cuyo nombre de salida es PP_mes_año_Santa, como se muestra en la Figura 3.14

Luego se aplicó nuevamente un clip (recorte) al raster, esta vez en base a la delimitación hasta la estación la Balsa, que es la zona de descarga de la cuenca alta del río Santa; cuyo nombre de salida es PP_mes_año_Balsa, como se muestra en la Figura 3.15, para el mes de enero del 2000.

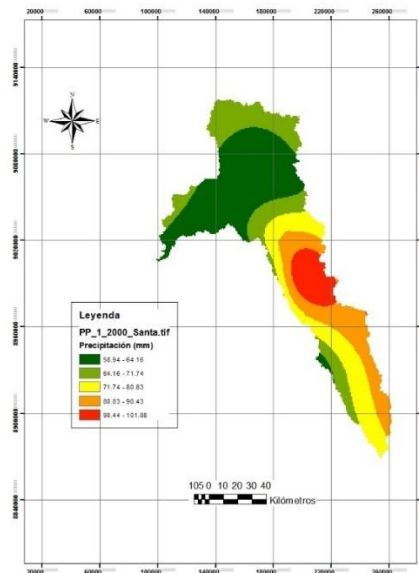


Figura 3.14 Clip al raster en base a la cuenca del Santa/ nombre (PP_1_2000_Santa.tif)
Fuente: Elaboración Propia

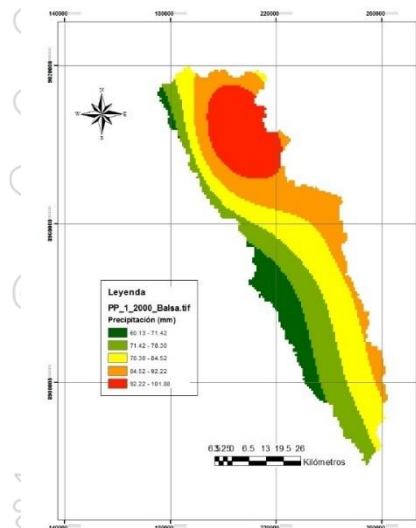


Figura 3.15 Clip al raster en base a la delimitación hasta la estación la Balsa/ nombre (PP_1_2000_Balsa.tif)
Fuente: Elaboración Propia

Dado a que los rangos de valores de precipitación, son muy variables por la proveniencia de la información del TRMM, es necesario reclasificar los rangos de precipitación por cada 25 mm (1 pulg), con nombre de salida `cla_pp_mes_año`, como se muestra en la Figura 3.16, para el mes de enero del

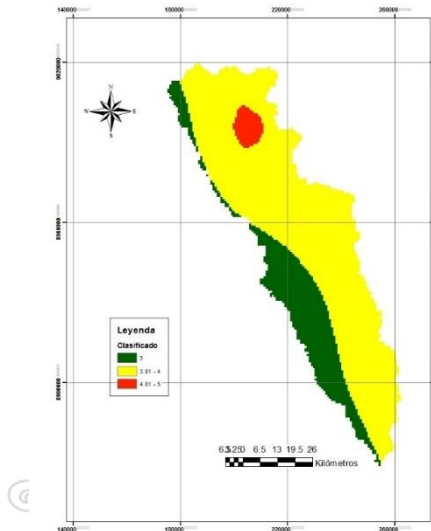


Figura 3.16 Reclasificación de raster cada 25 mm /nombre (cla_pp_1_2000)

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se ha creado un raster con los valores promedio por rango, cuyo nombre es: pp_mean_mes_año, como se muestra en la Figura 3.17, para el mes de enero del 2000.

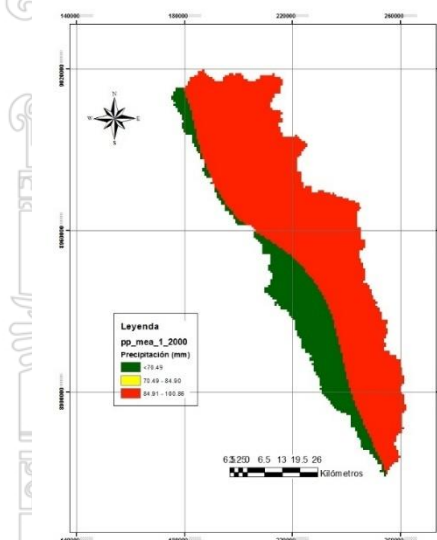


Figura 3.17 Creación de un raster con los valores promedio por rango/ nombre (pp_mean_1_2000)

Fuente: Elaboración Propia

La información del proceso obtenido, se ha enviado a una tabla de atributos, con nombre: Tabla_mes_año, en la que se registran las precipitaciones mínimas,

máxima, rango, medio, desviación estándar y la suma, como se muestra en la Tabla 3.8, para el mes de enero del 2000.

Tabla 3.8

Tabla de atributos del mes de enero 2000: Archivo Tabla_1_2000

Fuente: Elaboración Propia

ID Fila	VALOR	CONTAR	AREA	MIN	MAX	RANGO	PROMEDIO	DESV.EST.	SUMA
1	3	1760	1027622845	60.126389	74.999008	14.87262	70.490777	3.461774	124063.768
2	4	6212	3627041540	75.001526	99.992157	24.990631	84.998741	6.428689	528012.182
3	5	219	127868979	100.015625	101.879654	1.864029	100.857214	0.550237	22087.7298

Luego se ha obtenido la información de precipitación en las estaciones meteorológicas, que se encuentran dentro del ámbito de la cuenca alta del río Santa, que son: Huaraz, Recuay, Yungay y Milpo; se ha ingresado la información de latitud, longitud y altitud de las estaciones en mención. A esta información, se ha adicionado un campo a la tabla de atributos de las estaciones, cuyo nombre tiene el siguiente formato P_año;

Usando un Model Builder, se ha calculado el campo en la tabla de atributos mediante "Add Surface Information" y luego se ha enviado toda la información a una hoja de Excel, cuyo nombre tiene la forma de: PP_Resumen_Precipitación_mes, y contiene nombre de estación, cuenca, país, latitud, longitud, altitud, subzona, distrito, localidad, cordillera y las temperaturas del 2000 al 2014, que como ejemplo se muestra en la Tabla 3.9 para el mes de enero.

Tabla 3.9

Enviar toda la información a un Excel / nombre

(PP_Resumen_Precipitación_enero)

Fuente: Elaboración Propia

IDOBJETO	Id Estación	Nombre	Cuenca	País	Latitud	Longitud	Altitud
1	2	HUARAZ	Santa	PERU	-9.49277778	-77.5136111	3529
2	3	RECUAY	Santa	PERU	-9.72	-77.45	3553
3	4	YUNGAY	Santa	PERU	-9.1525	-77.7411111	3562
4	4	MILPO	Santa	PERU	-9.88	-77.23	3565

Sub_Zona	Distrito	Localidad	CORDILLERA	Z
Ancash	Independencia	Huaraz	Blanca	202.262699
Ancash	Recuay	Recuay	Blanca	201.150565
Ancash	Yungay	Yungay	Blanca	220.918897
Ancash	Catac	Recuay	Blanca	181.63055

T °C_2000	T °C_2001	T °C_2002	T °C_2003	T °C_2004	T °C_2005	T °C_2006	T °C_2007
77.1691199	202.262699	106.590057	126.004764	71.8315021	104.202369	121.785048	78.7288073
71.6088653	201.150565	92.1866926	108.860847	58.239844	86.6671304	106.606572	80.5275025
94.6994541	220.918897	126.474401	144.849056	92.4008679	137.700719	152.869453	90.3193147
84.5194087	181.63055	89.2314667	94.6179899	54.8432655	75.5908702	95.5741839	63.7621231

T °C_2008	T °C_2009	T °C_2010	T °C_2011	T °C_2012	T_2013	T °C_2014
172.961348	130.674753	108.009984	54.8656174	105.920777	86.4175162	82.6469075
176.682966	101.84745	81.1444993	58.0706119	96.9131314	79.4687292	71.2983694
175.851557	165.625111	116.21369	70.7066348	119.825301	145.908041	100.066445
123.775623	84.4869921	70.0972546	60.661884	121.228504	85.7322993	73.4533018

El proceso se repite para cada mes, existen 12 model builders, cada uno contiene a los 15 años analizados y que se encuentran en los anexos. Los resultados finales de los cálculos de precipitación y Temperatura, se muestran en las Tablas 3.10 y 3.11, respectivamente. En la Figura 3.18 se muestra la variación de las precipitaciones medias mensuales promedio, durante los años 2000 al 2014, expresada en mm. Asimismo en la Figura 3.19 se muestra la variación de la temperatura media mensual promedio, durante los años 2000 al 2014, en grados Celsius.

3.9.3 Procesamiento de Imágenes LANDSAT

Para el caso de la cuenca alta del río Santa, se ha buscado descargar imágenes e información que representen la modificación de la cobertura de vegetación y nevados en el período del estudio (2000 al 2014), por lo que se ha obtenido imágenes en tramos iguales (2001, 2005, 2009 y 2014). Para nuestro caso se ha obtenido la información para Path/Row: Path: del 7 al 9 y Row:65 al

Tabla 3.10*Resumen Precipitación mensual, años 2000- 2014 en mm**Fuente: Elaboración Propia*

PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL (mm)													
AÑOS/MES	ENER	FEBR	MAR	ABR	MAYO	JUNI	JUL	AGOS	SEPT	OCTU	NOVI	DICI	Pro.. Anual (mm)
2000	82.31	178.59	158.12	98.51	95.32	43.66	30.55	47.75	46.37	57.02	37.04	207.54	90.23
2001	200.34	145.26	234.09	71.62	68.79	28.92	39.98	7.55	88.13	65.12	132.35	95.82	98.16
2002	101.92	118.64	202.40	88.44	85.97	44.58	38.31	73.28	52.00	83.30	144.35	155.36	99.04
2003	116.60	122.55	174.45	96.86	92.77	45.54	21.29	23.78	63.05	57.80	78.22	89.12	81.83
2004	68.52	133.18	156.45	88.10	57.95	4.61	54.34	71.63	61.78	104.77	120.14	110.31	85.98
2005	102.11	106.38	186.12	162.91	38.17	58.28	72.51	25.51	98.61	53.36	56.52	120.15	90.05
2006	119.34	111.70	199.67	162.91	79.95	43.08	22.06	51.36	80.68	78.83	92.33	141.16	98.59
2007	77.06	83.52	198.52	70.87	28.73	59.49	56.15	39.06	74.59	67.11	137.69	96.65	82.45
2008	159.20	116.68	97.19	87.24	82.96	115.05	45.73	23.70	176.73	97.20	96.28	71.38	97.44
2009	127.16	61.72	195.64	152.62	44.13	118.25	13.00	57.87	56.75	90.96	67.31	102.43	90.65
2010	100.72	86.34	124.68	43.37	48.73	50.22	16.45	56.14	39.28	64.83	56.50	58.41	62.14
2011	61.19	78.62	113.26	90.84	66.53	49.14	55.73	23.51	49.83	90.80	86.95	99.65	72.17
2012	123.46	157.06	217.54	94.12	125.04	77.47	92.47	51.09	73.00	91.73	34.14	70.46	100.63
2013	117.27	131.55	83.04	53.04	38.06	65.49	16.65	35.55	52.48	92.79	44.58	111.10	70.13
2014	88.06	152.35	154.18	101.80	73.17	81.14	28.96	28.38	46.06	69.71	75.64	87.45	82.24
Prom	109.68	118.94	166.36	97.55	68.42	58.99	40.28	41.08	70.62	77.69	84.00	107.80	86.78

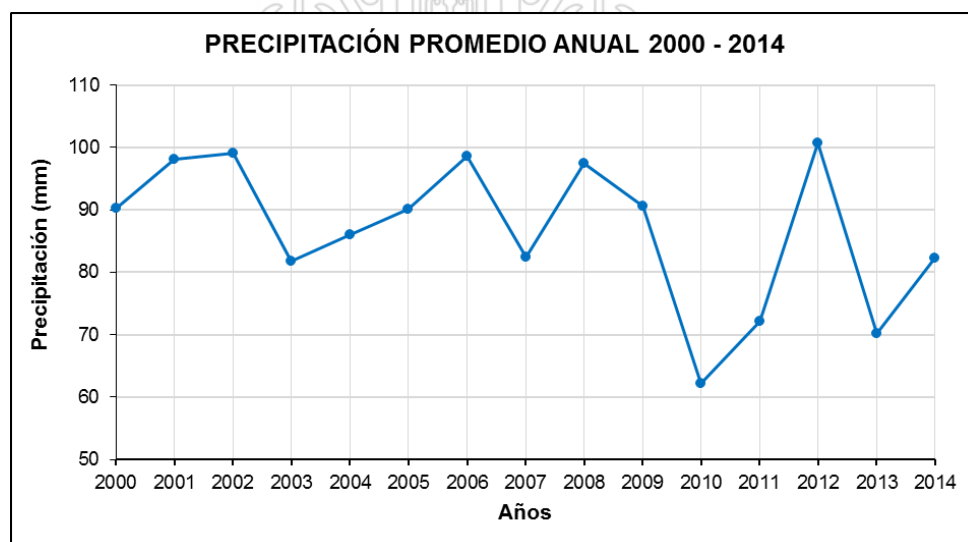
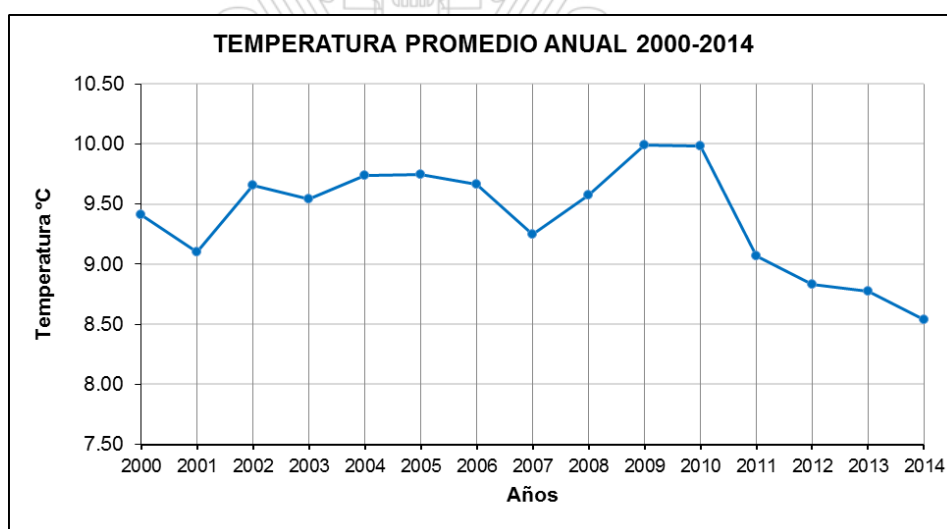
*Figura 3.18 Variación de la precipitación promedio mensual 2000 – 2014 en mm.**Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 3.11*Resumen Temperatura media mensual, años 2000- 2014 en °C**Fuente: Elaboración Propia*

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)													
AÑO/MES	ENER	FEBR	MAR	ABR	MAYO	JUNI	JUL	AGOS	SEPT	OCTU	NOVI	DICI	Pro.. Anual (mm)
2000	11.17	9.52	9.17	9.18	8.50	7.56	7.99	9.50	9.68	10.40	10.84	9.49	9.42
2001	9.15	10.57	8.77	8.58	8.26	7.04	7.95	8.33	9.33	10.53	10.24	10.42	9.10
2002	10.31	8.31	9.35	8.65	10.13	7.99	8.22	9.33	10.26	11.60	10.55	11.15	9.65
2003	11.15	10.49	9.47	8.45	8.20	8.19	8.31	8.20	9.33	11.52	10.97	10.22	9.54
2004	11.20	10.09	9.71	9.73	8.47	7.52	8.25	8.78	9.98	11.17	11.04	10.90	9.74
2005	11.37	10.48	9.76	9.66	9.99	8.56	7.95	9.93	9.94	11.21	9.51	8.56	9.74
2006	10.31	9.25	9.45	8.38	9.03	8.69	9.82	10.53	9.95	10.72	10.06	9.78	9.67
2007	10.66	10.31	9.25	9.27	8.04	7.16	8.00	8.25	9.64	9.95	10.17	10.30	9.25
2008	10.17	9.68	9.61	8.92	8.91	7.75	9.14	10.35	10.63	10.14	10.02	9.62	9.58
2009	10.37	10.68	9.39	9.31	9.12	8.45	9.11	9.54	10.49	10.85	11.11	11.49	9.99
2010	11.10	10.47	9.91	11.00	9.79	8.57	8.18	8.48	10.10	10.45	10.35	11.41	9.98
2011	8.43	8.10	8.21	8.76	8.73	8.79	8.46	8.51	10.04	9.95	12.00	8.85	9.07
2012	9.15	8.26	8.49	8.37	8.22	7.54	8.16	9.36	10.21	9.77	9.44	9.01	8.83
2013	9.51	8.76	8.64	8.95	8.57	7.56	7.51	8.85	9.74	9.17	8.84	9.16	8.77
2014	9.18	8.67	8.27	8.35	8.19	8.07	8.28	8.83	8.71	8.55	8.78	8.61	8.54
PROM	10.21	9.58	9.16	9.04	8.81	7.96	8.36	9.12	9.87	10.40	10.26	9.93	9.39

*Figura 3.19 Variación de la Temperatura media mensual promedio de los años 2000 – 2014 en °C.**Fuente: Elaboración Propia*

también se indican en el mapa de Cobertura de Imágenes de Satélite Landsat TM 7, publicado por el INGENMET, que corresponde aproximadamente a los cuadrantes del 14e al 20m de la Carta Geológica Nacional y que representan el

cubre los cuadrantes internos (9,65), (8,65), (9,66), (8,66), (8,67) y (7,67), como se muestra en la Figura 3.20; de las cuales se han obtenido las imágenes e información a Nivel 1.

9,65	8,65		
9,66	8,66		
	8,67	7,67	

Figura 3.20 Ubicación de path/row de la zona de la cuenca alta del río Santa
Fuente: Elaboración propia

El proceso para descargar información de imágenes satelitales LANDSAT, se ha realizado desde la web a partir de los registros del USGS, para lo cual se usó la interfaz GloVIS, en el buscador Google se escribe GLOVIS y luego Enter o se puede usar el URL <https://glovis.usgs.gov/>, aparece la pantalla principal del USGS, ingresar los valores del Path/Row del WRS de la zona, que para nuestro caso son: Path: 7, 8, y y row: 65, 66, 67, luego seleccionar la fecha adecuada y la mínima cobertura de nube, que a modo de ejemplo se muestra en la Figura 3.21. Luego click en add para adicionar a Landsat 4 – Present List (Lista Actual de Landsat 4) y luego Send to Cart para enviar al basket (cesta de “compras”), que lleva a una nueva pantalla como se muestra en la Figura 3.22.



Figura 3.21. Pantalla del GloVis USGS, con Path/Row: 7/67, del 22/08/2014 y 1% de cobertura de nube.

Fuente: Elaboración propia, desde el Glovis USGS

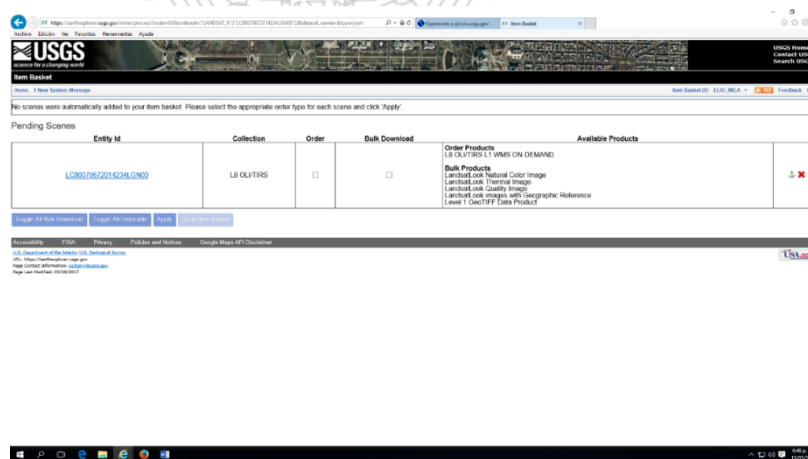


Figura 3.22 Pantalla del GloVis USGS, de envío del archivo LC80070672014234LGN00.

Fuente: Elaboración propia, desde el Glovis USGS

En el área *Entity Id*, click en el nombre del archivo del carrito de compras para obtener la siguiente pantalla (Figura 3.23), con información de *Data Set Attribute* (Atributos de Conjunto de Datos) y *Attribute Value* (Valor del Atributo) y en la parte inferior la opción *Download* (descargar) en la que al hacer click, aparece la pantalla de opciones de descarga y el tamaño del archivo en

MB, siendo el más grande el de Nivel 1 que incluye información completa del producto (Level 1 GeoTIFF Data Product) como se muestra en la Figura 3.24.

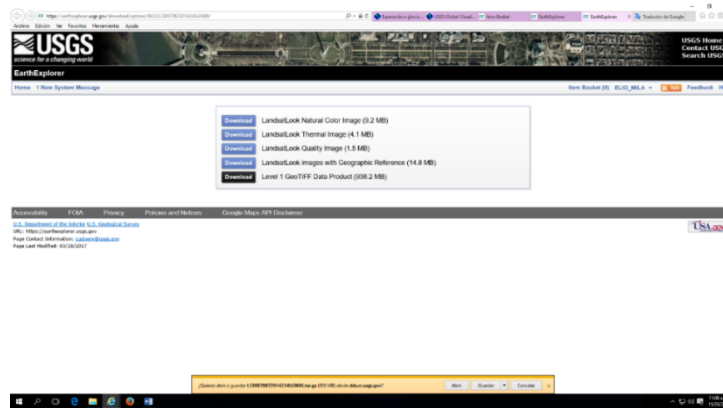


Figura 3.25 Pantalla del GloVis USGS, para guardar archivo, para el caso de la opción Level 1 GeoTIFF Data Product (938.2 MB)
 Fuente: Elaboración propia, desde el Glovis USGS



Figura 3.26 Imagen Landsat del 22/08/2014, para la ubicación path/row: 7/67, con 1% de cobertura de nubes
 Fuente: Elaboración propia, desde el Glovis USGS

3.9.4 Metodología de Generación de Descargas

Para la cuenca alta del río Santa, en la que no existe información hidrométrica en varios puntos de interés de la zona en estudio, se puede generar la esorrentía usando el modelo DISAPRO (Disponibilidad de Agua para PROFODUA), desarrollada y usada en el Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua, PROFODUA – Fase II, IRH, INRENA, en la que se propone el uso de dos submodelos: 1) la representación espacial de la precipitación. y 2) calculando el coeficiente de esorrentía (C_e) que toma en cuenta la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y la presencia de nevados,

1) Submodelo de Precipitación

La distribución espacial de la precipitación se ha desarrollado en el ítem 3.9.2, usando el SIG, en la que se ha obtenido la precipitación en cada celda, en formato raster, la cual está expresada en mm; por lo que, para obtener la precipitación en metros cúbicos, se multiplica por 8.281, que es un factor que corresponde al tamaño de celda, que para nuestro caso es de 91 x 91 metros.

2) Submodelo del Coeficiente de Escorrentía

Para el cálculo del Coeficiente de Escorrentía, se ha seguido la metodología propuesta por DISAPRO (Quesquén, 2006), con algunas variantes que se describe a continuación:

- **Pendiente**

Para la obtención del mapa de pendientes del terreno, con el mapa en DEM, obtenido a partir de una imagen de un sensor remoto de radar procesado ASTER, denominada ASTGTM_S09W078_dem, que ha sido recortado para la zona denominada Balsa, se procesa en el módulo de hidrológica del ArcGIS., en la que se obtienen las pendientes del terreno en cada celda expresado en porcentaje. El proceso seguidos e muestra en la Figura 3.27.

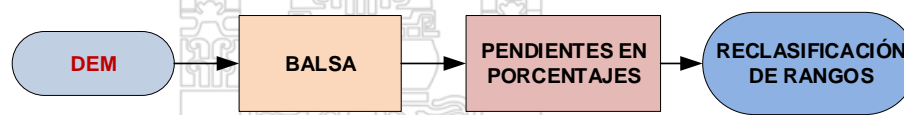


Figura 3.27 Procedimiento para Hallar la Pendiente

Fuente: Quesquén, 2006

Para fines del presente trabajo, requerimos asignar un valor de clasificación de la pendiente en cada celda, para lo cual tomamos en cuenta

los rangos de reclasificación propuesta por Quesquén (2006), que se indica

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

en la Tabla 3.12. El proceso seguido mostrado en mapas y los resultados de finales de la clasificación, que se usarán en el trabajo, se muestran en la Figura 3.28.

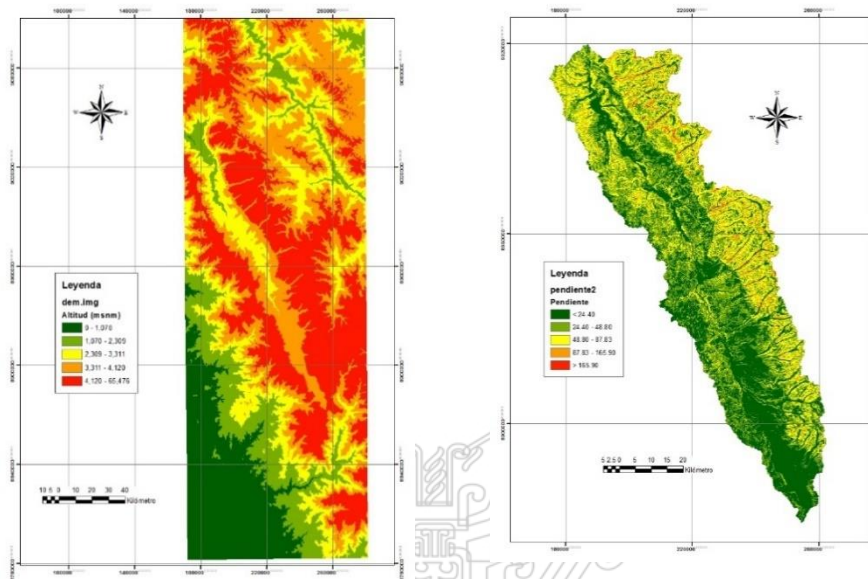
Tabla 3.12
Reclasificación de la Pendiente
Fuente: Quesquén, 2006

Valor	Rango de pendiente del terreno
4	0 -7% pendiente muy suave
3	7-15%
2	15-45%
1	45% a más, pendiente muy alto

- **Cobertura Vegetal**

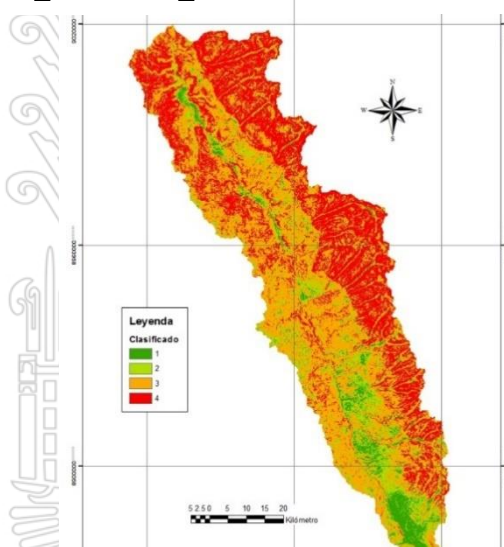
Para obtener los valores del Índice de cobertura vegetal, previamente debemos contar con imágenes LANDSAT, que se han obtenido siguiendo el proceso del ítem 3.9.1 *Procesamiento de Imágenes LANDSAT*, en estas imágenes se seleccionan la banda tres (rojo) y la banda cuatro (infrarrojo cercano), que son los que reflejan bien el espectro de luz que muestra la pigmentación de las clorofilas. El índice de vegetación, se calcula usando formulas empíricas, en este caso el Índice de Vegetación Diferenciado Normalizado (NDVI), cuya fórmula es la siguiente (Quesquén, 2006, p.61):

$$NDVI = (Banda 4 - Banda 3) / (Banda 4 + Banda 3),$$



Mapa DEM
ASTGTM_S09W078_dem

Mapa de Pendientes en
Porcentaje, en Balsa



Mapa de Pendiente Clasificada en Valores

Figura 3.28 Clasificación de la Pendiente

Fuente: Elaboración propia

Los valores de NDVI varían de -1.0 a 1.0, los valores menores a cero representan superficies sin vegetación alguna, como suelos desnudos, rocas, cuerpos de agua, nevados, etc., y las mayores a 0.0 representan superficies con vegetación, los valores cercanos a cero son de escasa

Tesis publicada con autorización del autor. No olvide citar esta tesis

fisiológicas y las que se alejan de cero, representan la presencia fuerte o abundante de vegetación (Quesquén, 2006, p.61).

En la Figura 3.29, se muestra el proceso seguido para la obtención de los valores clasificados del Índice de Vegetación en cada celda, que se inicia con la superposición de bandas, luego el mejoramiento espectral que nos permite obtener el NDVI, para luego reclasificar los NDVI, en rangos y asignándoles un valor. En zonas CON aporte de nevados (Cordillera Blanca) usamos los valores de la Tabla 3.13 y en zonas SIN aporte de nevados (Cordillera Negra) usamos los valores indicados en la Tabla 3.14. Finalmente debe hacerse una generalización, que consiste en convertir las celdas de 30 m x 30 m del Landsat a 91m x 91m. Los mapas obtenidos en el proceso y la clasificación final se muestran en la Figura 3.30. Se ha ejecutado el mismo proceso para imágenes obtenidas para los años 2001, 2005, 2009 y 2014.

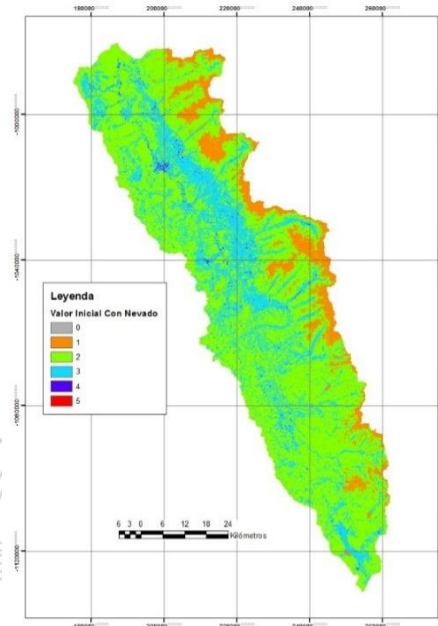


Figura 3.29 Procedimiento para el Modelamiento de la Cobertura Vegetal

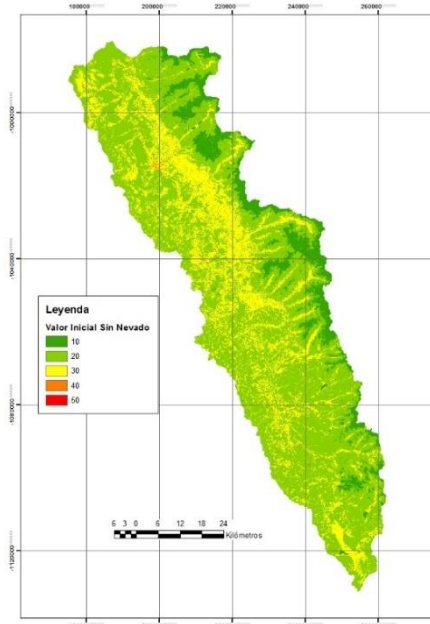
Fuente: Quesquén, 2006



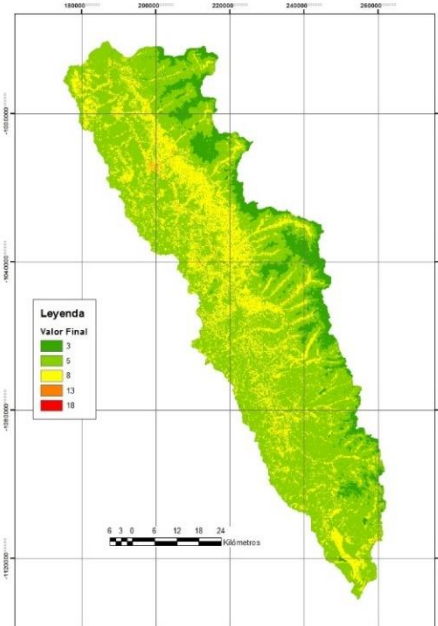
Imagen LandSat 22/08/2014, para la ubicación path/row: 7/67, 1% de nubes



Mapa de Clasificación Inicial CON aporte de Nevados



Mapa de Clasificación Inicial SIN aporte de Nevados



Mapa de Clasificación Final

Figura 3.30 Clasificación de la Cobertura Vegetal, 22-08-2014

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.13

Reclasificación de los valores del índice de vegetación (Para cuencas SIN aporte de Nevados)

Fuente: Quesquén, 2006

Valor	Rango de índice de vegetación (NDVI)
10	-1 a 0
20	De 0 a 0.2
30	De 0.2 a 0.4
40	De 0.4 a 0.6
50	De 0.6 a +1

Tabla 3.14

Reclasificación de los valores del índice de vegetación (Para cuencas CON aporte de Nevados)

Fuente: Quesquén, 2006

Valor	Rango de índice de vegetación (NDVI)
1	-1 a 0
2	De 0 a 0.2
3	De 0.2 a 0.4
4	De 0.4 a 0.6
5	De 0.6 a +1

- **Cobertura de Índice de Nevados**

Para obtener los valores clasificados del Índice de Nevados (IS), de las imágenes LANSAT, se superponen las bandas dos y cinco. El índice de Nevados Diferenciado Normalizado (NDSI), varía entre -1.0 y 1.0 y se calcula con la siguiente expresión (Quesquén, 2006, p.64)

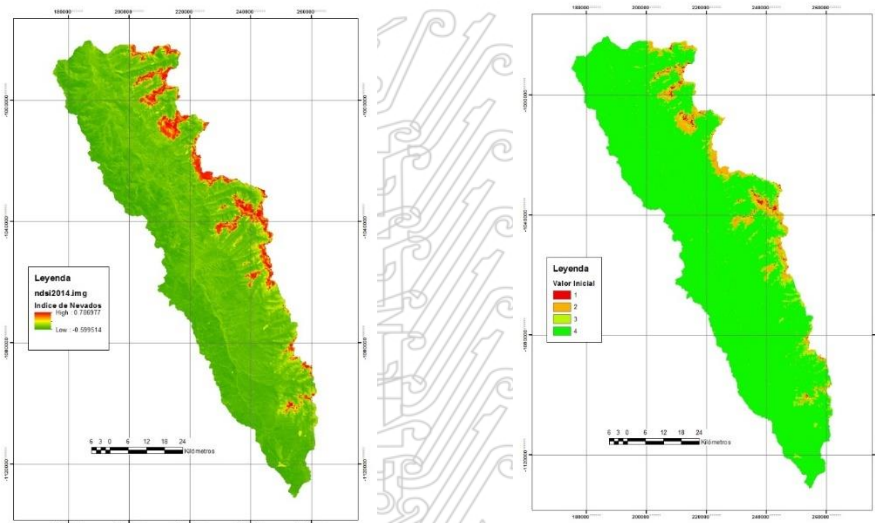
$$NDSI = (TM2 - TM5) / (TM2 + TM5)$$

NDSI menores o iguales a 0, indican suelos sin presencia de agua, valores entre 0.0 a 0.1, indican alguna presencia de agua en el suelo, valores entre 0.1 a 0.2, son suelos con mediana humedad, valores entre 0.2 a 0.4, indican suelos saturados o pequeños cuerpos de agua, valores entre 0.4 a 0.7, indican cuerpos de agua, valores entre 0.65 a 0.7, indica

presencia, de nevados, con cierto punto de fusión y valores entre 0.7 a 1.0 representan nevados, o cuerpos de hielo (Quesquén, 2006, p.64).

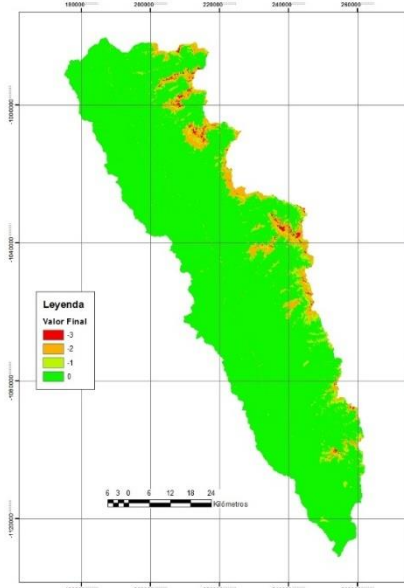
Para obtener los valores de clasificación del Índice de Nevados, se tomará la propuesta de Quesquén (2006) que se muestra en la Tabla 3.15.

El proceso de obtención del Índice de Nevados y la clasificación final se muestran en la Figura 3.31



Mapa de Índice de Nevados (NDIS)

Mapa de Clasificación Inicial



Mapa de Clasificación Final

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 3.31 Clasificación de Índice de Nevados
Fuente: Elaboración propia

UNFV

Tabla 3.15

Reclasificación de los valores del índice de Nevados

Fuente: Quesquén, 2006

Valor	Rango de Índices de Nevados Diferenciado normalizado (NDSI)
4	-1.0 a 0.0
3	0.0 a 0.4
2	0.4 a 0.7
1	0.7 a 1.0

- **Cálculo del Coeficiente de Escorrentía CE**

Para calcular el Coeficiente de Escorrentía (CE), en formato vector, se usa la ecuación calibrada:

$$CE = 4.99 / (CE \text{ número}) \quad (4.99: \text{valor de calibración})$$

Los valores de CE número, se calculan sumando los valores clasificados de pendiente (P número) y cobertura vegetal (CV número) y se obtiene (CE número 1) y cuando sea el caso se suma la presencia de nevados (CN número), con lo que se obtiene (CE número 2), así:

$$CE \text{ número}1 = P \text{ número} + CV \text{ número}, \text{ (SIN aportes de nevados) ó,}$$

$$CE \text{ número}2 = P \text{ número} + CV \text{ número} + CN \text{ número}, \text{ (CON aporte de nevados)}$$

Los valores de CE número y el Coeficiente de Escorrentía (CE) para el caso SIN aporte de nevados y CON aporte de nevados, se muestran en las Tablas 3.16 y 3.17, respectivamente.

Finalmente, nuevamente se convierte en formato raster, con los valores del CE, para obtener valores de CE en cada celda. El procedimiento se muestra en la Figura 3.32. En la Figura 3.33, se muestra el procedimiento en raster del Coeficiente de Escurrimiento CE para la

imagen del 2014 (Quesquén, 2006, p.67)

Tabla 3.16

Número CE, y los valores de la escorrentía superficial CE
(Microcuencas SIN aportes de Nevados)

Fuente: Quesquén, 2006

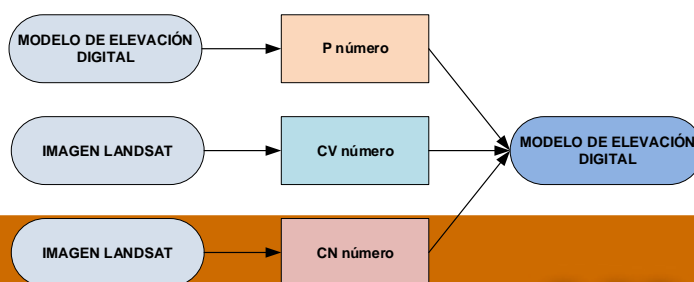
CE número	CE	CE número	CE
12	0.41583333	32	0.15593750
13	0.38384615	33	0.15121212
14	0.35642857	34	0.14676471
15	0.33266667	35	0.14257143
16	0.31187500	36	0.13861111
17	0.29352941	37	0.13486486
18	0.27722222	38	0.13131579
22	0.22681818	42	0.11880952
23	0.21695652	43	0.11604651
24	0.20791667	44	0.11340909
25	0.19960000	45	0.11088889
26	0.19192308	46	0.10847826
27	0.18481481	47	0.10617021
28	0.17821429	48	0.10395833

Tabla 3.17

Número CE, y los valores de la escorrentía superficial CE
(Microcuencas CON aportes de Nevados)

Fuente: Quesquén, 2006

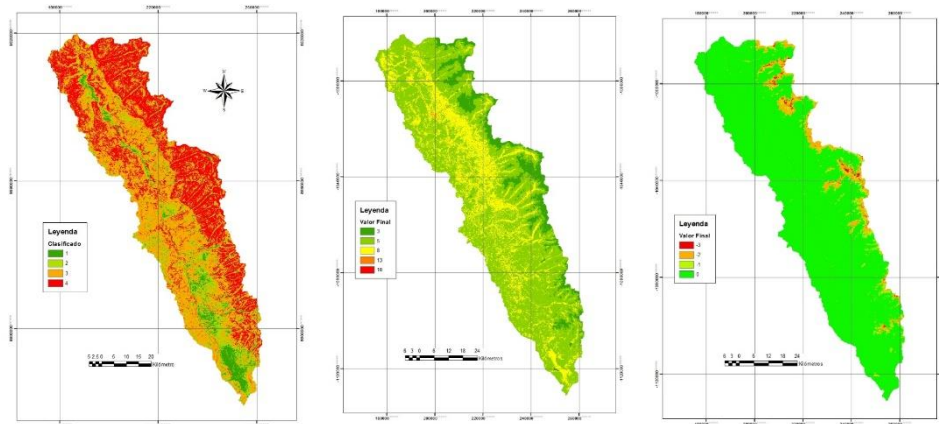
CE número	CE
3	1.663
4	1.248
5	0.998
6	0.832
7	0.713
8	0.624
9	0.554
10	0.499
11	0.454
12	0.416
13	0.384



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 3.32 Procedimiento para hallar los valores del Coeficiente de Escorrentía (Fuente: Quesquén, 2006)

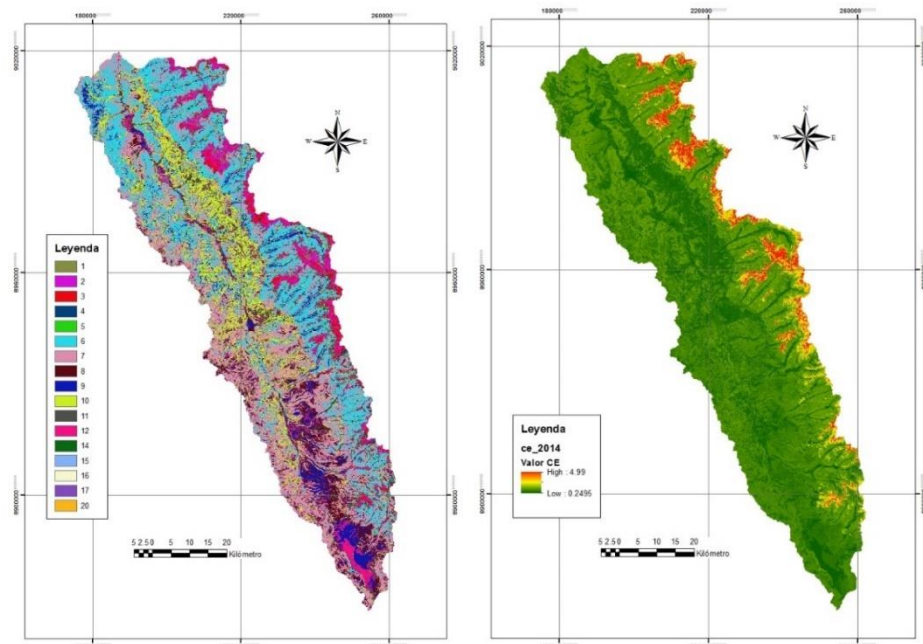
UNFV



Mapa de Pendiente clasificada

Mapa de Cobertura Vegetal Clasificada

Mapa de Cobertura de Nieve Clasificada



Mapa de CE Número

Mapa de Coeficiente de Escorrentía CE

Figura 3.33 Procedimiento para Determinar el Mapa del Coeficiente de Escorrentía CE

Fuente: Elaboración propia

- **Conversión de la Precipitación a Escorrentía**

Para obtener la escorrentía, a partir de las precipitaciones, se usa la

siguiente fórmula

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

$$\text{Escorrentía} = \text{PPmes}_i * \text{CE}$$

Como la precipitación en cada celda, se expresa en mm/mes, para obtener la escorrentía en m³/mes, se multiplica el resultado de la ecuación por un factor que toma en cuenta los días del mes correspondiente. Los valores del factor, se muestran en la Tabla 3.18 (Quesquén, 2006, p.69)

Tabla 3.18

Factores de Conversión de la Escorrentía de mm/mes a m³/s

Fuente: Quesquén, 2006

Mes	Factor por mes
ENER	0.00000309
FEBR	0.00000342
MARZO	0.00000319
ABR	0.00000309
MAYO	0.00000309
JUN	0.00000319
JULIO	0.00000309
AGOS	0.00000309
SET	0.00000319
OCTUB	0.00000309
NOV	0.00000319
DICIEM	0.00000309

La escorrentía se calcula en cada celda. Para obtener la escorrentía total de la cuenca, se suman todas las escorrentías de celda, usando el análisis espacial Zonal Estadística.

- **Caudal Base y Deshielo**

Según Quesquén (2006), en zonas CON aporte de nevados, el coeficiente de escorrentía considera la diferencia entre el volumen de agua disponible (fusión más lluvia) y el caudal saliente de la cuenca. Al comienzo del período de fusión las pérdidas son pequeñas y se limitan a la evaporación superficial de la nieve. En la época de estiaje, que normalmente se inicia en abril y se extiende hasta septiembre, aumenta la

Tesis publicada con fusión y decrece la lluvia, por lo que el coeficiente de escorrentía aumenta.
No olvide citar esta tesis

El caudal base y de deshielo en este periodo, toma en cuenta el decremento del caudal en ausencia de aportaciones de lluvia o fusión de nieve, que está representado por el Coeficiente de Recesión “*k*”, entonces el valor (1-*k*) representa la porción de agua procedente de nieve que pasa a formar parte del caudal, “*k*” se calcula con la siguiente ecuación:

$$k = \frac{Q_{n+1}}{Q_n}$$

Donde:

k = coeficiente de recesión

Q_n = Caudal del mes

Q_{n+1} = Caudal del mes siguiente

n, *n+1* = son meses consecutivos de un período de recesión

El valor de *k* se obtiene graficando los caudales promedios de *Q_{n+1}* y *Q_n*.

Para fines de este trabajo se han ordenado los valores mensuales de caudales históricos o registrados de la Estación la Balsa para los 15 años de análisis y luego han sido graficados en escala logarítmica, como se muestra en la Figura 3.34. Determinándose aquí la línea envolvente inferior (línea roja) que nos indica los valores que toma *k*.

Los caudales que se usarán como representativos para calcular el caudal base y de deshielo; se determinarán usando el criterio del percentil al 75%, para cuyo fin se ordenan los caudales mensuales registrados en la estación la Balsa en los 15 años, por cada mes y en orden de mayor a menor, resultando los valores al 75% al orden 12, como se muestra en la

Tabla 3.19. Los caudales mensuales al 75% para cada mes, se muestran en

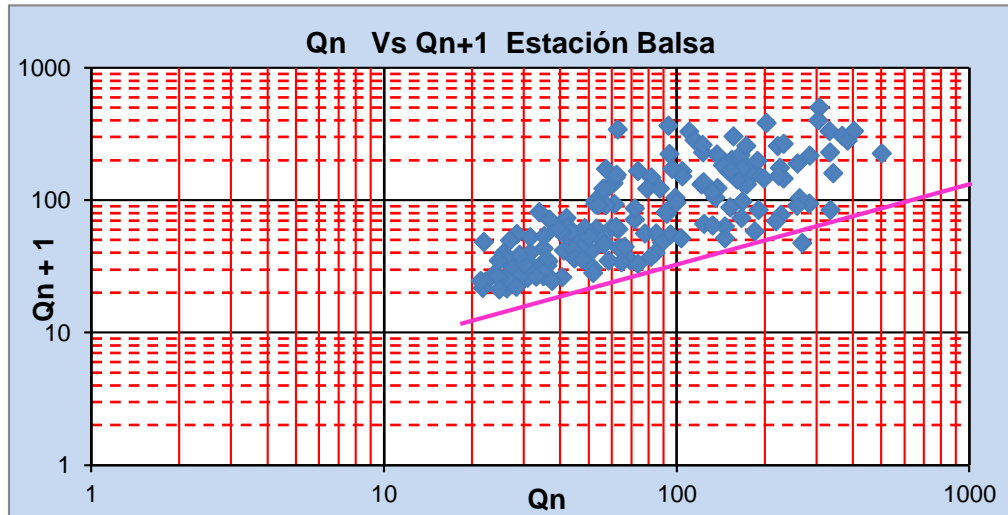


Figura 3.34 Relación de Caudales promedio Q_n/Q_{n+1} , estación La Balsa
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.19

Cálculo de Caudales Mensuales al percentil 75%.

Fuente: Elaboración Propia

DESCARGAS MEDIAS MENSUALES REGISTRADAS - ESTACIÓN LA Balsa EN m ³ /s													
Nº	%	Ener	Febr	Marz	Abri	Mayo	Juni	Jul	Agos	Sept	Octu	Novie	Diciem
1	6.3	367.91	332.25	500.89	335.36	145.97	63.31	50.97	44.47	49.76	81.86	172.96	225.35
2	12.5	342.65	307.28	403.39	283.62	95.01	56.63	47.84	44.25	45.52	73.75	166.60	185.11
3	18.8	175.79	304.64	383.80	268.43	85.06	56.34	46.92	43.84	42.52	63.10	149.15	180.73
4	25.0	165.07	223.14	333.38	231.64	84.64	55.49	43.83	41.16	41.92	57.37	94.24	167.65
5	31.3	156.30	221.19	284.91	227.11	81.46	44.81	36.43	34.90	35.00	53.10	71.86	135.42
6	37.5	154.35	202.81	262.41	218.85	77.96	40.55	35.91	32.98	33.85	52.66	62.08	123.27
7	43.8	149.20	188.85	258.16	190.29	73.75	37.56	32.23	30.60	31.62	50.17	62.04	121.55
8	50.0	137.40	172.55	257.58	184.77	69.58	36.07	30.26	27.95	31.53	48.53	61.25	99.57
9	56.3	132.68	167.17	231.41	166.40	66.44	35.91	28.73	27.57	29.01	43.50	60.81	93.73
10	62.5	110.13	167.07	198.21	146.33	64.59	35.10	26.76	27.21	26.89	40.26	59.84	92.35
11	68.8	104.53	161.13	173.27	132.85	58.56	35.02	26.57	26.44	25.76	40.02	57.27	91.98
12	75.0	98.70	123.17	153.08	123.91	51.91	34.15	26.35	24.83	25.64	38.88	57.27	71.86
13	81.3	96.41	122.43	151.99	103.63	51.86	33.13	26.20	24.48	24.67	36.72	56.06	62.81
14	87.5	87.43	114.83	143.91	91.64	48.05	30.96	24.72	21.73	24.04	35.16	53.85	62.37
15	93.8	79.22	104.59	137.96	88.92	47.59	28.36	22.24	21.33	21.87	28.46	52.61	61.87
Nº AÑOS		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
AL 75 %		98.70	123.17	153.08	123.91	51.91	34.15	26.35	24.83	25.64	38.88	57.27	71.86

Usando la ecuación de “k” y la Figura 3.36, se obtiene que para $Q_n = 123.91 \text{ m}^3/\text{s}$ (promedio abril), de la Figura 3.36 se obtiene $Q_{n+1} = 45 \text{ m}^3/\text{s}$, entonces $k_I = 0.36$. Para $Q_n = 24.83.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (promedio agosto), de la Figura

3.36 se obtiene $Q_{n+1} = 12 \text{ m}^3/\text{s}$, entonces $k = 0.48$; por lo que se demuestra que el valor de “ k ” aumenta a medida que el caudal disminuye.

Con los valores de “ k ” de los meses de abril a septiembre, obtenemos un valor de “ k ” promedio de 44 % y $(1-k)$ de 56%; entonces el caudal base y de deshielo se obtiene de multiplicar $(1-k)$ por el caudal específico.

El caudal específico se representa por la ecuación:

$$Q_e = \frac{Q_n * 1000}{A_c}$$

Dónde:

Q_e = Caudal específico (l/s/km^2).

Q_n = Caudal del mes n (m^3/s)

A_c = Área de la cuenca en Km^2 .

Por tanto el caudal base y deshielo promedio calculado es 5.61 l/s/Km^2 . El resumen del proceso se muestra en la Tabla 3.20.

Tabla 3.20

Determinación del Caudal Base y Deshielo de la Cuenca Alta del río Santa

Fuente: Elaboración Propia

CAUDAL BASE Y DESHIELO														
ESTACIÓN HIDROMÉTRICA LA Balsa														
Área Cuenca	4782 km ²	CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES AL 75 %											Prom.	
Parámetros	Unidades	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ener	Feb	Marz	Abr	May	Juni		Jul
Qn	m ³ /s	24.83	25.64	38.88	57.27	71.86	98.70	123.17	153.08	123.91	51.91	34.15	26.35	
Qn +1	m ³ /s	12.0	12.5							45.00	20	14	13.2	-
K		0.48	0.49							0.36	0.39	0.41	0.50	0.44
1-K		0.56	0.56							0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Qe	l/s/km ²	5.19	5.36							25.91	10.85	7.14	5.51	-
Qbase y Deshielo	l/s/km ²	2.92	3.01							14.55	6.10	4.01	3.09	5.61
Qbase y Deshielo Promedio	l/s/km ²	5.61	5.61							5.61	5.61	5.61	5.61	-

En ésta consideración para el periodo de estiaje indicado y para la cuenca alta del río Santa, se ha obtenido que el caudal base y de deshielo es de 5.61 l/seg/km², equivalente a un valor promedio de caudal de 26.8 m³/s, valor que ha sido obtenido considerando un área de la cuenca de 4782.31 km².

3.9.5 Calibración del Modelo

La calibración del modelo precipitación – escorrentía, consiste en el ajuste de los valores de caudales calculados o simulados, con los caudales históricos o registrados en la estación la Balsa. Los datos registrados para el período en estudio se muestran en la Tabla 3.21.

Tabla 3.21

Caudal promedio mensual registrado del río Santa - Estación La Balsa

Fuente: Elaboración Propia

CAUDAL PROMEDIO MENSUAL HISTÓRICO O REGISTRADO (m ³ /s)													
AÑO	ENE	FEBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCTU	NOVIEM	DICIEM	PROM
2000	110.13	332.25	333.38	231.64	145.97	63.31	43.83	43.84	45.52	53.10	61.25	93.73	129.83
2001	367.91	307.28	500.89	227.11	77.96	56.63	47.84	44.47	49.76	57.37	172.96	180.73	174.24
2002	154.35	202.81	383.80	283.62	95.01	55.49	50.97	41.16	41.92	73.75	166.60	185.11	144.55
2003	165.07	221.19	258.16	190.29	85.06	56.34	46.92	44.25	42.52	63.10	60.81	135.42	114.09
2004	104.53	167.17	137.96	123.91	66.44	44.81	36.43	34.90	33.85	81.86	149.15	167.65	95.72
2005	98.70	104.59	151.99	88.92	48.05	36.07	32.23	30.60	35.00	43.50	57.27	92.35	68.27
2006	79.22	123.17	231.41	268.43	47.59	35.91	35.91	27.57	31.53	40.26	57.27	121.55	91.65
2007	132.68	114.83	284.91	218.85	69.58	35.02	26.76	27.95	25.64	40.02	59.84	61.87	91.50
2008	149.20	188.85	198.21	146.33	51.86	30.96	26.20	21.73	21.87	48.53	62.04	62.37	84.01
2009	156.30	304.64	403.39	335.36	84.64	40.55	26.35	27.21	31.62	52.66	94.24	225.35	148.53
2010	175.79	167.07	173.27	132.85	64.59	34.15	30.26	32.98	29.01	38.88	62.08	62.81	83.65
2011	342.65	161.13	143.91	184.77	58.56	35.10	28.73	26.44	24.04	28.46	56.06	123.27	101.09
2012	137.40	223.14	153.08	166.40	73.75	33.13	26.57	24.83	25.76	36.72	71.86	71.86	87.04
2013	87.43	122.43	262.41	103.63	51.91	28.36	22.24	24.48	26.89	50.17	52.61	99.57	77.68
2014	96.41	172.55	257.58	91.64	81.46	37.56	24.72	21.33	24.67	35.16	53.85	91.98	82.41
PROM.	157.18	194.21	258.29	186.25	73.49	41.56	33.73	31.58	32.64	49.57	82.53	118.37	104.95
MAX.	367.91	332.25	500.89	335.36	145.97	63.31	50.97	44.47	49.76	81.86	172.96	225.35	174.24
MIN.	79.22	104.59	137.96	88.92	47.59	28.36	22.24	21.33	21.87	28.46	52.61	61.87	68.27

Para la simulación de caudales medios, se usan los valores clasificados de los índices de Vegetación (CV) y Nieve (CN), que deben ser reclasificados, cambiando sus valores mediante la prueba y error; es decir hasta que los índices de ajuste, muestren que la correlación entre valores históricos y simulados sean significativos, la misma que se ha obtenido en 6 intentos. Los cuadros de reclasificación final de estos índices se muestran en las Tablas 3.22 y 3.23, los mismos que se presentan en los mapas raster de la Figura 3.35.

Tabla 3.22
Reclasificación Índice de Vegetación
Fuente: Elaboración Propia

OBJECTID *	CV	C1	C2	C3	C4	C5 Valores Seleccionados	C6	Rango Índice Vegetación
1	3	10	9	6	5	2	3	-1.00 - 0.0
2	5	20	19	16	7	3	5	0.0 - 0.2
3	8	30	29	26	10	6	8	0.2 - 0.4
4	13	40	39	36	15	11	13	0.4 - 0.6
5	18	50	49	46	20	16	18	0.6 - 1.0

Tabla 3.23
Reclasificación Índice de Nieve
Fuente: Elaboración Propia

OBJECTID *	CN	C1	C2	C3	C4	C5 Valores Seleccionados	C6	Rango Índice de Nieve
1	-3	1	0	-3	-3	-3	-3	-1.0 - 0.0
2	-2	2	1	-2	-2	-2	-2	0.0 - 0.4
3	-1	3	2	-1	-1	-1	-1	0.4 - 0.7
4	0	4	3	0	0	0	0	0.7 - 1.0

Los caudales promedio simulados para la Cuenca Alta del río Santa en la estación La Balsa se presenta en la Tabla 3.24 y la comparación de ajuste con los datos registrados se muestra en la Figura 3.35.

Tabla 3.24

Caudal promedio mensual Simulado del río Santa - Estación La Balsa

Fuente: Elaboración Propia

CAUDAL PROMEDIO MENSUAL SIMULADO (m ³ /s)													
AÑO	ENE	FEBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCTU	NOVIEM	DICIEM	PROM
2000	97.82	221.52	171.29	95.99	115.90	67.76	49.89	52.55	57.48	84.37	58.96	213.44	107.25
2001	237.66	191.17	235.51	88.36	90.11	43.85	57.27	28.88	111.93	81.76	131.84	139.52	119.82
2002	122.13	143.79	208.78	106.18	129.10	85.62	119.88	99.72	74.53	94.20	152.07	165.99	125.17
2003	133.83	207.43	207.07	113.14	169.53	96.59	41.44	94.50	143.18	94.63	151.95	113.19	130.54
2004	95.43	191.93	182.93	113.15	91.82	5.39	80.29	140.15	91.35	156.17	154.54	134.95	119.84
2005	143.54	186.21	224.58	236.89	81.15	143.83	150.08	57.44	158.19	85.57	97.24	153.06	143.15
2006	166.77	154.86	231.11	236.89	231.66	68.90	78.85	92.24	108.96	105.47	115.06	166.91	146.47
2007	93.23	121.19	235.87	95.22	86.68	132.93	102.15	93.44	135.40	90.47	175.40	112.76	122.89
2008	194.45	144.49	144.40	131.32	149.84	203.01	82.32	64.84	224.38	146.13	130.81	104.43	143.37
2009	160.68	96.03	263.72	172.60	79.75	215.00	29.88	126.52	98.74	116.66	95.83	113.97	130.78
2010	149.64	113.18	183.42	57.87	87.99	105.78	53.72	133.67	75.93	97.83	60.87	66.33	98.85
2011	50.45	82.78	110.32	82.86	73.49	69.07	47.31	25.21	43.03	70.43	83.02	105.89	70.32
2012	99.87	163.55	168.40	99.20	96.85	72.18	86.03	40.90	51.31	74.14	34.33	62.24	87.42
2013	64.64	112.45	102.54	45.22	34.54	66.85	19.84	28.38	34.37	67.06	52.82	79.71	59.03
2014	69.52	148.14	163.42	60.72	46.25	69.65	28.50	20.25	43.82	59.58	74.80	68.62	71.11
PROM.	125.31	151.91	188.89	115.71	104.31	96.43	68.50	73.25	96.84	94.96	104.64	120.07	111.73
MAX.	237.66	221.52	263.72	236.89	231.66	215.00	150.08	140.15	224.38	156.17	175.40	213.44	146.47
MIN.	50.45	82.78	102.54	45.22	34.54	5.39	19.84	20.25	34.37	59.58	34.33	62.24	59.03

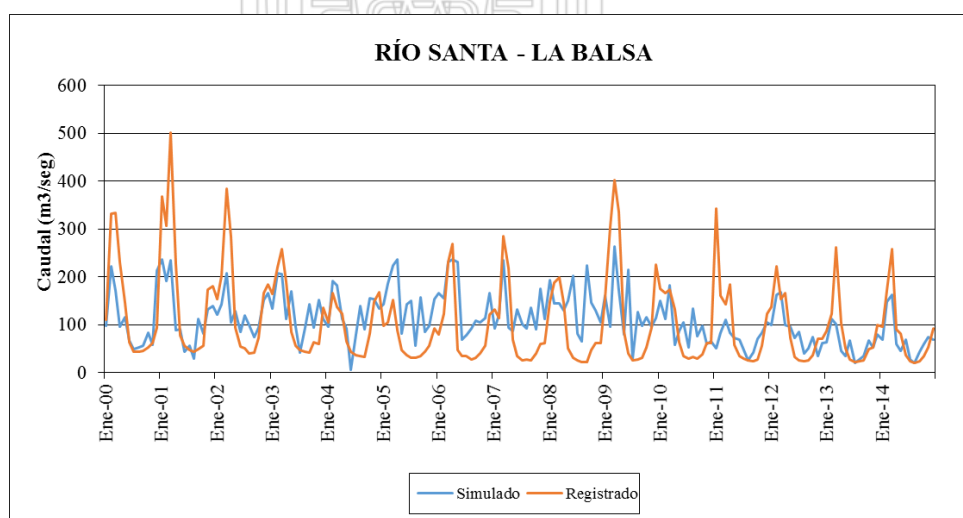


Figura 3.35 Comparación de las Descargas Registradas y Simuladas para el período enero 2000 a diciembre 2014 – Estación La Balsa

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Fuente: Elaboración propia

UNFV

La calibración del modelo, entre datos históricos registrados y los simulados obtenidos en este estudio para la estación la Balsa, se han realizado por los 4 métodos que han sido definidos en el ítem 2.2.7 y cuyos resultados se resumen a continuación:

a. Coeficiente de calibración (r)

Las hojas de cálculo de $S_{obs, sim}$ y S_{obs} y S_{sim} , se adjuntan en el Anexo. Los valores obtenidos son los siguientes:

$S_{obs} = 8241.75$

$S_{sim} = 3032.18$

$S_{obs, sim} = 2764.63$

Coeficiente de correlación
Calculado

r = 0.55

Por tanto, según los rangos definidos de valores de -1 a 1 , podemos considerar que el ajuste es aceptable.

b. Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E)

En el criterio de Nash-Sutcliffe se ha obtenido el valor de Eficiencia como:

Eficiencia de Nash-Sutcliffe
Calculado

E = 0.30

Por lo que, según la Tabla 2.2 de Grado de ajuste de las observaciones en función de E, se considera que el ajuste es satisfactorio.

c. Raíz del error cuadrático medio (RMSE)

En el criterio de la Raíz del error cuadrático medio (RMSE), se ha obtenido el siguiente coeficiente:

Coeficiente Calculado

RMSE = 75.89

Analizando éste valor y los rangos establecidos, se considera que el ajuste es aceptable.

d. Criterio de Bias o Desviación Relativa de los Caudales

Para el caso del índice de Bias, se ha obtenido una eficiencia de :

BIAS = 0.06

El valor obtenido comparado con los establecidos, indican que se encuentra con buena correspondencia.

Por lo que podemos concluir que las descargas simuladas, tienen buena correspondencia con los históricos o registrados.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Contratación de Hipótesis.

La hipótesis menciona “El efecto del cambio climático sobre la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río Santa; se puede analizar, a partir de las correlaciones y tendencias de las variables hidrometeorológicas: temperatura, precipitaciones y caudales”; por tanto, se realizará un análisis de Regresión para determinar la naturaleza de la relación funcional de las variables temperatura versus precipitaciones y temperatura versus caudales, para lo cual se va a usar la metodología indicada en el ítem 3.3 del presente trabajo.

4.1.1 Prueba de Correlación y Tendencia Temperatura - Precipitación

De la información consignada en el ítem 3.9, en la Tabla 4.1, se presenta el resumen de Temperaturas medias mensuales y precipitación media mensual, obtenidos como promedio anual, entre los años 2000 y 2014.

Usando una hoja de cálculo, se ha realizado la Prueba de Significancia, considerando una función de relación correlativa simple y lineal; obteniéndose los siguientes resultados:

PRUEBA DE SIGNIFICANCIA: TEMPERATURA – PRECIPITACIÓN

- Parámetros que miden el grado de asociación correlativa

$$\text{Coeficiente de Determinación } r^2 = 0.0045468$$

$$\text{Coeficiente de Correlación } r = 0.0674298$$

$$\text{Pares de valores } n = 15$$

$$t_c = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

- Obtención del valor de t calculado t_c :

$$t_c = 0.244$$

- Calculo de t tabular, t_t :

Grados de Libertad (2 grados) $v = 13 (v = n-2)$

Nivel de Significancia $\alpha = 0.05$

Probabilidad $1-\alpha = 0.95$

$$t_t = 2.16$$

Aplicando el Criterio de decisión:

Como $|t_c| \leq t_t$, se acepta la hipótesis nula, por lo que $\rho = 0$ y por lo tanto **no hay correlación significativa**.

Tabla 4.1

Resumen temperatura (°C) y precipitación mensual (mm), promedio anual en la cuenca alta del río Santa

Fuente: Elaboración Propia

AÑO	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
2000	9.42	90.23
2001	9.10	98.16
2002	9.65	99.04
2003	9.54	81.83
2004	9.74	85.98
2005	9.74	90.05
2006	9.67	98.59
2007	9.25	82.45
2008	9.58	97.44
2009	9.99	90.65
2010	9.98	62.14
2011	9.07	72.17
2012	8.83	100.63
2013	8.77	70.13
2014	8.54	82.24

4.1.2 Prueba de Correlación y Tendencia Temperatura - Caudal

De la información consignada en el ítem 3.9, en la Tabla 4.2, se presenta el resumen de Temperaturas medias mensuales y caudal medio mensual, obtenidos como promedio anual, entre los años 2000 y 2014..

Tabla 4.2

Resumen temperatura (°C) y caudal (m³/seg) mensuales, promedio anual en la cuenca alta del río Santa

Fuente: Elaboración Propia

AÑO	Temperatura (°C)	Caudales (m ³ /seg)
2000	9.42	107.25
2001	9.10	119.82
2002	9.65	125.17
2003	9.54	130.54
2004	9.74	119.84
2005	9.74	143.15
2006	9.67	146.47
2007	9.25	122.89
2008	9.58	143.37
2009	9.99	130.78
2010	9.98	98.85
2011	9.07	70.32
2012	8.83	87.42
2013	8.77	59.03
2014	8.54	71.11

Usando una hoja de cálculo, se ha realizado la Prueba de Significancia, considerando una función de relación correlativa simple y lineal; obteniéndose los siguientes resultados:

PRUEBA DE SIGNIFICANCIA: TEMPERATURA – CAUDAL

- Parámetros que miden el grado de asociación correlativa

$$\text{Coeficiente de Determinación } r^2 = 0.536427589$$

$$\text{Coeficiente de Correlación } r = 0.732412172$$

$$\text{Pares de valores } n = 15$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

$$\text{Obtención del valor de } t \text{ calculado } t_c = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

UNFV

$$t_c = 3.879$$

- Cálculo de t tabular, t_t :

$$\text{Grados de Libertad (2 grados)} \quad v = 13 \quad (v = n-2)$$

$$\text{Nivel de Significancia} \quad \alpha = 0.05$$

$$\text{Probabilidad} \quad 1-\alpha = 0.95$$

$$t_t = 2.16$$

Aplicando el Criterio de decisión:

Como $|t_c| > t_t$ se rechaza la hipótesis nula, por lo que $\rho \neq 0$ indicándose que es significativo y por lo tanto **existe correlación entre las variables**.

4.2 Análisis e Interpretación

La Figura 4.1, muestra el ploteo de valores pares de Temperatura y Precipitación entre los años 2000 al 2014, la ecuación de la línea de tendencia y el valor del coeficiente de determinación r^2 .

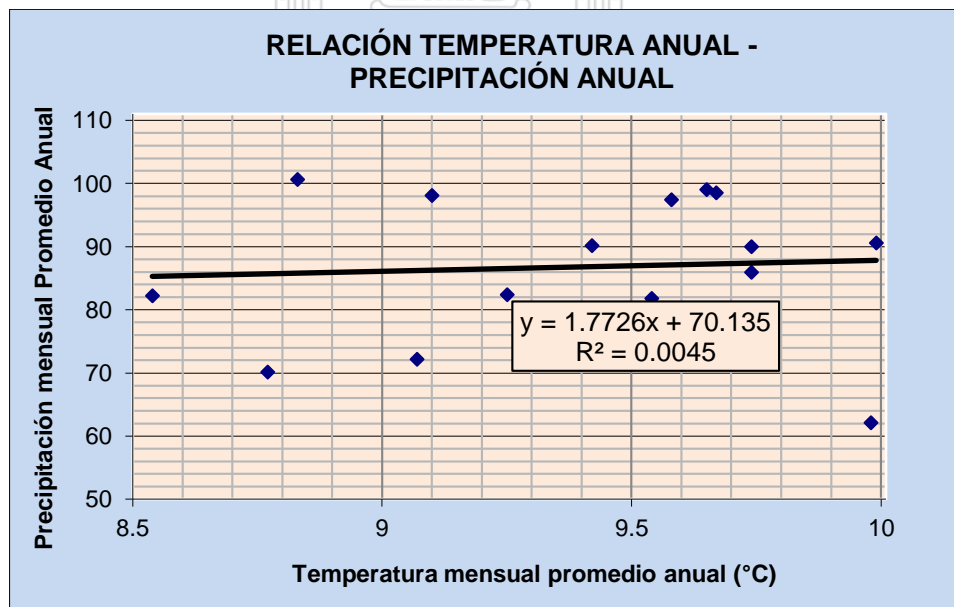


Figura 4.1 Ploteo de valores pares de Temperatura y Precipitación mensual promedio anual período enero 2000 a diciembre 2014

De la observación de la Figura 4.1, se observa que la tendencia es que, a mayor temperatura, también es mayor la precipitación, pero dicha tendencia no es significativa desde el punto de vista estadístico, pero visualmente y según la ecuación de regresión, se aprecia que hay una correlación de incremento.

La Figura 4.2, muestra el ploteo de valores pares de Temperatura y caudal entre los años 2000 al 2014, la ecuación de la línea de tendencia y el valor del coeficiente de determinación r^2 .

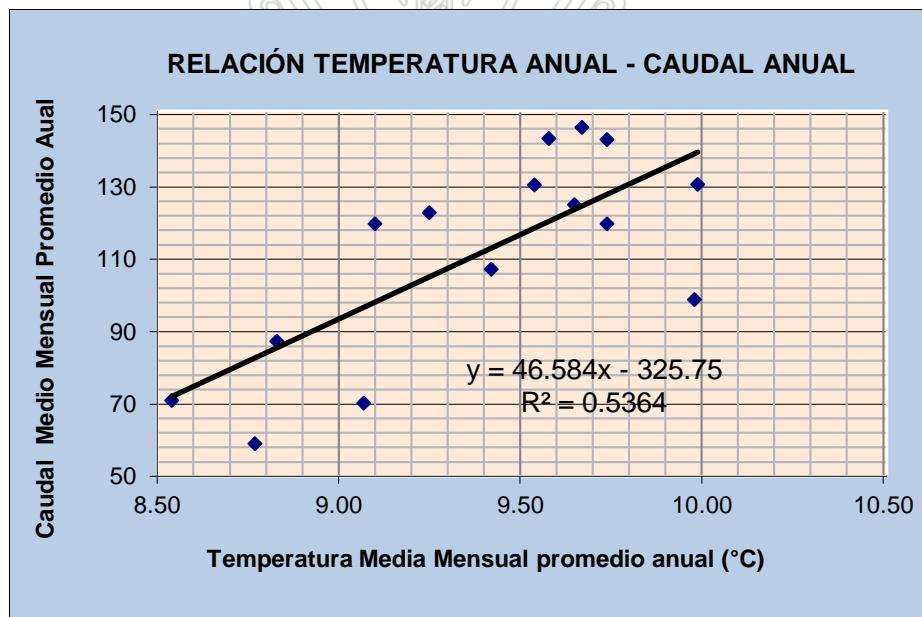


Figura 4.2 Ploteo de valores pares de Temperatura y Caudal mensual promedio anual período enero 2000 a diciembre 2014

Fuente: Elaboración propia

De la observación de la Figura 4.2, se observa que la tendencia es que, a mayor temperatura, también es mayor el caudal, en este caso la tendencia es significativa desde el punto de vista estadístico y también visualmente y según la ecuación de regresión, se aprecia que hay una correlación de incremento.

CAPITULO V

DISCUSIÓN

La determinación de usar información a partir de imágenes descargadas de los Instrumentos de la Misión de Medición de Lluvias Tropicales - TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) de la NASA y la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA), se sustenta en que la información pluviométrica de la zona en estudio es escasa, incompleta y en los años de estudio han sido interrumpidos. Las imágenes satelitales se obtienen desde 3 satélites: precipitación de radar (PR), imágenes de microondas (TMI) y escáner del visible y del infrarrojo (VIRS), que han sido evaluados, calibrados y validados en varias zonas del Perú y el mundo y porque ofrecen información de carácter temporal y espacial, como lo proponen Ramos (2010), Lavado, et al (2009), Satgé, et al (2008) y Zubieta (2013).

Del mismo modo el uso de información de imágenes obtenidas del Sistema Global de Asimilación de Datos Terrestres (GLDAS) se sustenta en que la información meteorológica de la zona en estudio es escasa, incompleta y en los años de estudio han sido interrumpidos. Estas imágenes satelitales son producto de datos de observación basados en satélites y en tierra, utilizan modelos avanzados de modelación de superficie terrestre y técnicas de asimilación de datos, que dan lugar a un archivo masivo de datos modelados y observados, globales, meteorológicos superficiales, mapas de parámetros y resultados que incluyen resolución de 0,25 grados desde 1979 al presente y porque ofrecen información de carácter temporal y espacial.

El ArcGIS, es un poderoso software que permite el procesamiento de información de imágenes de temperatura y precipitación, previa la ubicación geográfica georreferenciada, realizar cálculos, conversiones y presentarlos en tablas de atributos que pueden ser exportados a hojas de cálculo, generar mapas en modo vector, raster y DEM, que permiten

obtener la información de precipitación y temperatura en cualquier punto de la cuenca (espacial) y en el tiempo que se requiera (temporal) y que con la ayuda de hojas de cálculo.

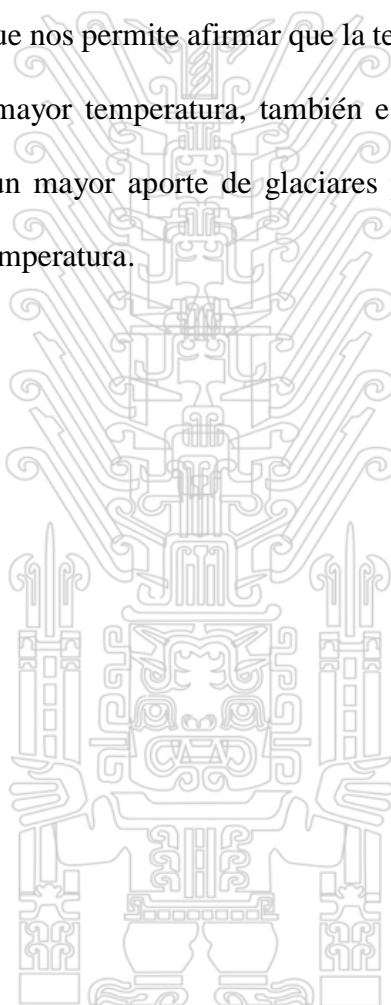
La determinación de los caudales de escurrimiento en la cuenca alta del río Santa, considerando la presencia de glaciares, se han obtenido a partir de las precipitaciones obtenidas en mapas raster y han sido calibradas con los datos de registros históricos del río Santa en la estación la Balsa, teniendo en cuenta la pendiente del terreno, la presencia de cobertura vegetal y nevados, obteniéndose valores de correlación satisfactorios en los métodos de Coeficiente de calibración (r), Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E), Raíz del error cuadrático medio (RMSE) y Criterio de Bias o Desviación Relativa de los Caudales, como también lo demuestra Quesquén (2006).

El comportamiento de la temperatura mensual promedio anual, en el período de estudio (2000 – 2014), no presenta correlación estadística; sin embargo, es necesario analizar el comportamiento variable de la temperatura en época de lluvias y en época de estiaje, como se conoce en los meses de junio, julio y agosto las temperaturas son muy bajas y es necesario también tener en cuenta la presencia de fenómenos climatológicos como la “Niña”, que influyen en el valor del promedio anual, como lo indican: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2001) y Centro de Estudios Científicos (2011).

En el caso de la Prueba de Correlación y Tendencia Temperatura – Precipitación, obtenidas a partir de la información de Temperaturas medias mensuales y precipitación media mensual, obtenidos como promedio anual, y para una función de relación correlativa, simple, lineal, se ha obtenido que aplicando el Criterio de decisión, se determina que no se acepta la hipótesis nula, por lo que $\rho = 0$ y por lo tanto no hay correlación estadística significativa; pero que por observación visual del gráfico Temperatura versus Precipitación y el análisis de la ecuación de regresión, se puede observar que hay una tendencia de

incremento, pues a mayor temperatura, también es mayor la precipitación.

En el caso de la Prueba de Correlación y Tendencia Temperatura – Caudal, obtenidas a partir Temperaturas medias mensuales y caudal medio mensual, obtenidos como promedio anual, con una función de relación correlativa, simple y una vez realizado la Prueba de Significancia, se obtiene que $|t_c| > t_l$, se rechaza la hipótesis nula, por lo que $\rho \neq 0$ indicándose que es significativo y por lo tanto existe correlación entre las variables, que se corrobora con una observación visual del gráfico Temperatura versus caudales y el análisis de la ecuación de regresión, que nos permite afirmar que la tendencia de la correlación es de incremento; es decir que, a mayor temperatura, también es mayor el caudal, que puede interpretarse como que hay un mayor aporte de glaciares por efecto de la deglaciación, producto del incremento de temperatura.



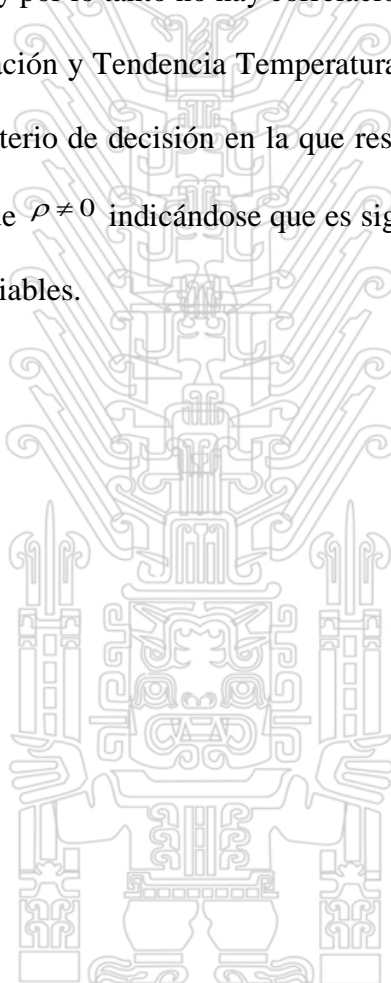
CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- 6.1 La información a partir de imágenes descargadas de la Misión de Medición de Lluvias Tropicales - TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) de la NASA y la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA), permiten obtener información de carácter temporal y espacial, que pueden cubrir la deficiencia de poca información de la pequeña red de estaciones pluviométricas.
- 6.2 La información de imágenes obtenidas del Sistema Global de Asimilación de Datos Terrestres (GLDAS) ofrecen mapas de parámetros y resultados con resolución de hasta 0,25 grados y con información de carácter temporal y espacial, que pueden cubrir la deficiencia de poca información de la pequeña red de estaciones pluviométricas existente.
- 6.3 El comportamiento de la temperatura mensual promedio anual, en el período de estudio (2000 – 2014), no presenta correlación estadística; por lo que se requiere un análisis detallado de la información mensual por el comportamiento variable de la temperatura en época de lluvias y en época de estiaje en la que se presentan temperaturas muy bajas y la influencia de la ocurrencia de fenómenos climatológicos como la “Niña”.
- 6.4 De la simulación de caudales a partir de la información espacial de la precipitación, que toma en cuenta la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y la presencia de nevados, nos permitió calcular un caudal base y deshielo de 26.8 m³/seg, información importante del aporte de glaciares.
- 6.5 La simulación de caudales ha sido calibrada, con los datos históricos registrados en la estación La Balsa, representativo de la cuenca alta del río Santa, concluyéndose que

según lo obtenido con el Coeficiente de calibración (r), la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E), Raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el Criterio de Bias o Desviación Relativa de los Caudales, se concluye que las descargas simuladas, tienen buena correspondencia con los registrados.

- 6.6 En la prueba de Correlación y Tendencia Temperatura – Precipitación de los años 2000 al 2014 y aplicando el Criterio de decisión en la que resulta que $|t_c| \leq t_i$; entonces, se acepta la hipótesis nula y por lo tanto no hay correlación significativa.
- 6.7 En la Prueba de Correlación y Tendencia Temperatura – Caudal de los años 2000 al 2014 y aplicando el Criterio de decisión en la que resulta que $|t_c| > t_i$; se rechaza la hipótesis nula, por lo que $\rho \neq 0$ indicándose que es significativo y por lo tanto existe correlación entre las variables.



CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

Se recomienda en el futuro las posibles líneas de investigación siguientes:

- 7.1 De la observación del proceso de cálculo, es conveniente ampliar la investigación al análisis de datos diarios o mensuales y evaluar el detalle de la variación mensual.
- 7.2 La información procesada, se refiere sólo a la cuenca alta del río Santa, es recomendable emplear la metodología para las microcuencas y la cuenca del río Santa.
- 7.3 Se recomienda realizar futuras investigaciones con los resultados obtenidos y relacionar con la evolución de los glaciares.
- 7.4 Evaluar la información obtenida de pluviómetros con estimaciones de satélite y su utilidad en la modelación hidrológica.
- 7.5 Evaluar otros modelos de calibración escorrentía – precipitación, que consideren otras variables adicionales a las analizadas que permitan comparar resultados.
- 7.6 Ampliar la investigación para la determinación espacial de la temperatura y precipitación con varios modelos de interpolación.
- 7.7 Implementar estaciones meteorológicas en la cuenca alta del río Santa, que se ubiquen adecuadamente y en una densidad espacial suficiente, para evaluar la influencia de los parámetros hidrometeorológicos en el cambio climático.

CAPITULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ArcGIS Pro de ESRI (2015), extraída de la dirección web: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/exploring-digital-elevation-models.htm>
- Autoridad Nacional del Agua (2016). *Evaluación de Recursos Hídricos de Doce Cuencas Hidrográficas del Perú*. 1era edición. Lima Perú. Imprenta Cartomen E.I.R.L. (Pág. 96 – 101)
- Cabrera, J. (2012). *Calibración de Modelos Hidrológicos*. Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil. Recuperado de www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf
- Campos D. F., (1992) *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Segunda Reimpresión. México. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
- Centro de Estudios Científicos (2011). *Variaciones Recientes de Glaciares en Chile, Según Principales Zonas Glaciológicas*. Informe Final. Trabajo encargado a la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas – Chile
- Chunga J. *Modelo Hidrológico Distribuido de Generación de Caudales Cuenca Tablachaca – Regiones Ancash y La Libertad*. Universidad Nacional Agraria la Molina, UNALM, Escuela de Post Grado, Maestría en Ingeniería de Recursos Hídricos. Lima, Perú.
- Colque Pinedo, M. T. (2007.) *El Cambio Climático a Nivel Mundial*. Asociación Civil Labor / Amigos de la Tierra – Perú, recuperado de la web: http://www.labor.org.pe/descargas/El%20Cambio%20Climatico%20a%20Nivel%20Mundial%20_agosto%202007_.pdf

Gómez, Jesús. (2009). *Estudio de Glaciares en la Cordillera Blanca*. UGRH – INRENA.

Huaraz - Perú.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2001). *Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001 - La base científica*, recuperada de <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2013). *Informe del Grupo de Trabajo I - Cambio Climático 2013 - Bases Físicas - Resumen para Responsables de Políticas, Resumen Técnico y Preguntas Frecuentes*, recuperada de http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf

Lavado W, Labat D., Loup J., Ronchail J., Ordoñez J. (2009). *Validación de lluvia utilizando TRMM en dos cuencas amazónicas peruanas y su aplicación en modelos mensuales de balance hídrico*. Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA. Lima Perú.

Llamas, J. 1993. *Hidrología general, principios y aplicaciones*. Editorial Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 618 p.

Morales, Benjamín. (1998). *Estudio de la Vulnerabilidad de Recursos Hídricos de Alta Montaña*. CONAM - INAGGA.

Moreno A. y otros 9 (2006). *Sistemas y Análisis de la Información Geográfica (Manual de Autoaprendizaje con Arc GIS)*. Departamento de Geografía Universidad Autónoma de Madrid. RA-MA Editorial. Segunda Edición. España

Organización Meteorológica Mundial (2011). *Guía de prácticas hidrológicas Volumen I Hidrología – De la medición a la información hidrológica*. Sexta Edición. Ginebra Suiza.

- Organización Meteorológica Mundial (2011). *Glosario Hidrológico Internacional*. WMO N° 385. Junta de publicaciones. Ginebra, Suiza.
- Quesquén R. (2006). *Informe Final: Propuesta de Asignación de Agua superficial en Bloques – Cuenca Alta del Río Santa – A*. Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua, PROFODUA – Fase II, IRH, INRENA. Lima – Perú.
- Satgé F., Bonnet M.P., Timouk F., Pilco R, Molina J. Gosset M, Alcoba M. (2008) *Comparison of two Satellite-Based Precipitation Estimate Products with Gauges over The Altiplano's Watershed. HASM : Hydrology of the Altiplano, from Spatial to Modelation*
- Sánchez, F. (2001) *Análisis y Evaluación Comparativa de Siete Modelos Precipitación – Escorrentía (Budyko, Coutagne, Grunsky, Peñuelas, Pizarro, Turc, Turc-Pike), en la Cuenca del Río Malleco, IX Región*. Memoria para optar el título de Ingeniero Forestal en la Universidad de Talca. Chile.
- USGS (s.f.). *El ciclo del agua: The water cycle*. Recuperado de <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html#streamflow>
- Villón B. (2002). *Hidrología Estadística*. Editorial MaxSoft. Segunda Edición. Lima Perú. 380 p.
- Zubieta R. (2013), *Modelado Hidrológico Distribuido de la Cuenca Amazónica Peruana Utilizando Precipitación Obtenida por Satélite*. Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae en Recursos Hídricos Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima

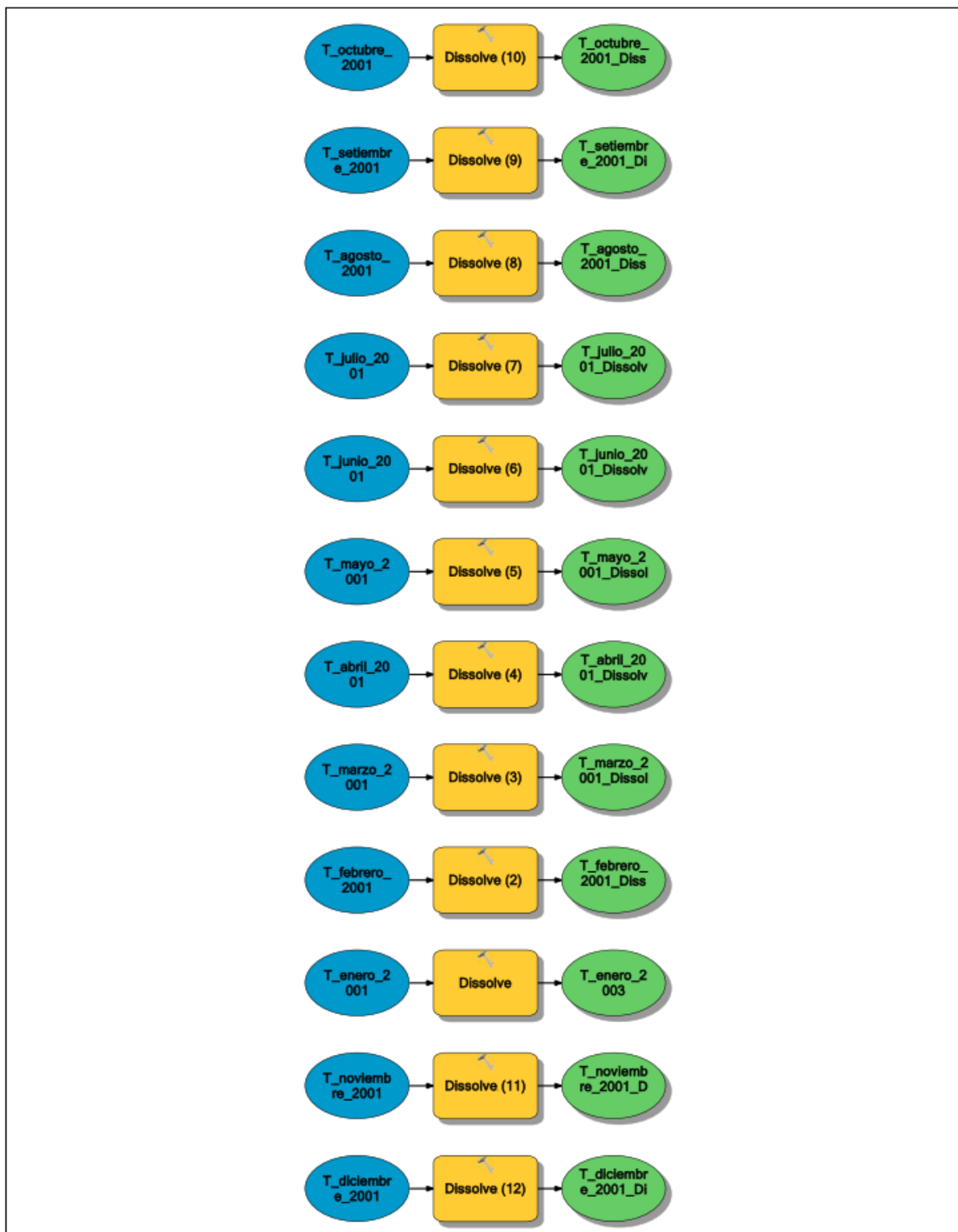


ANEXOS

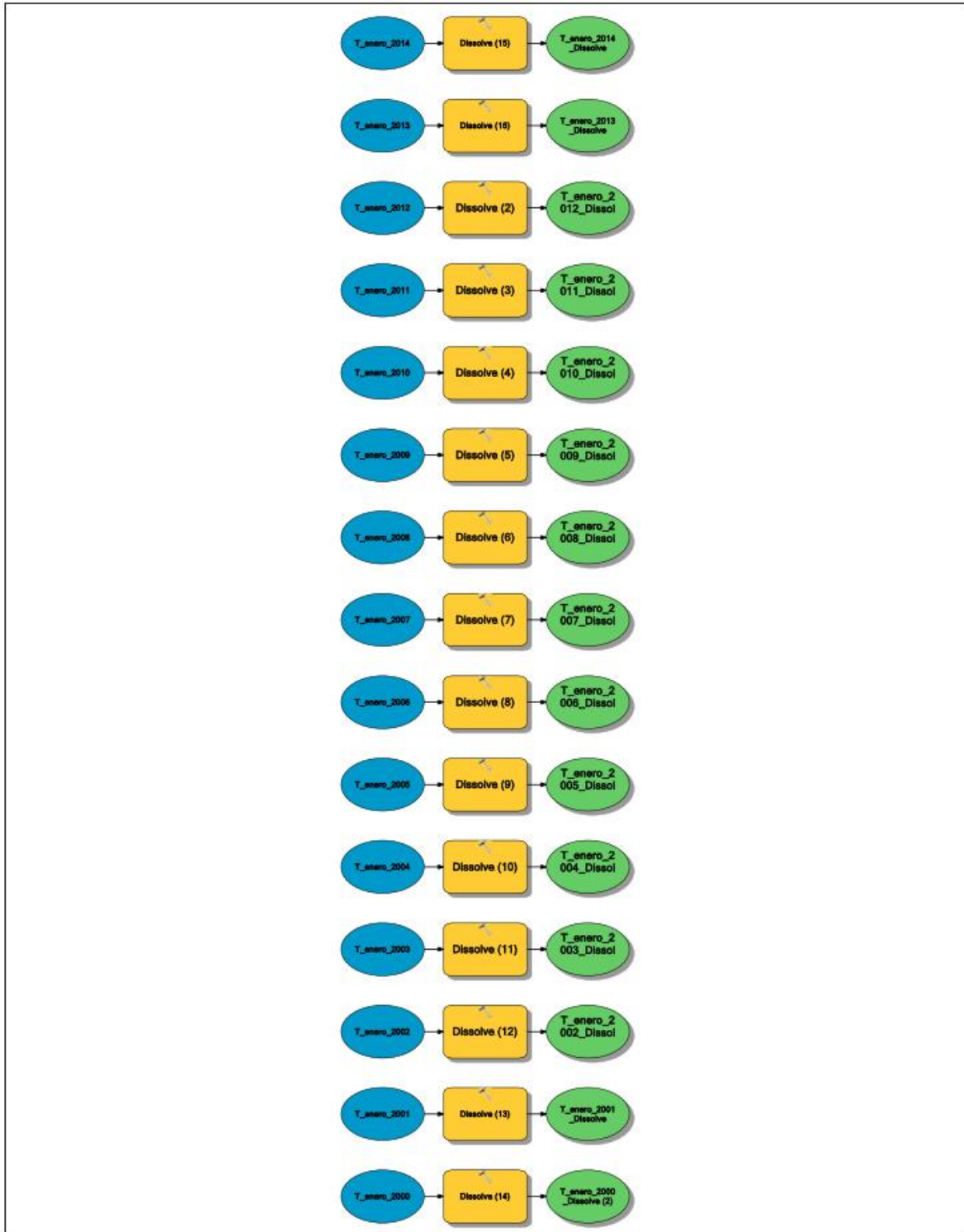


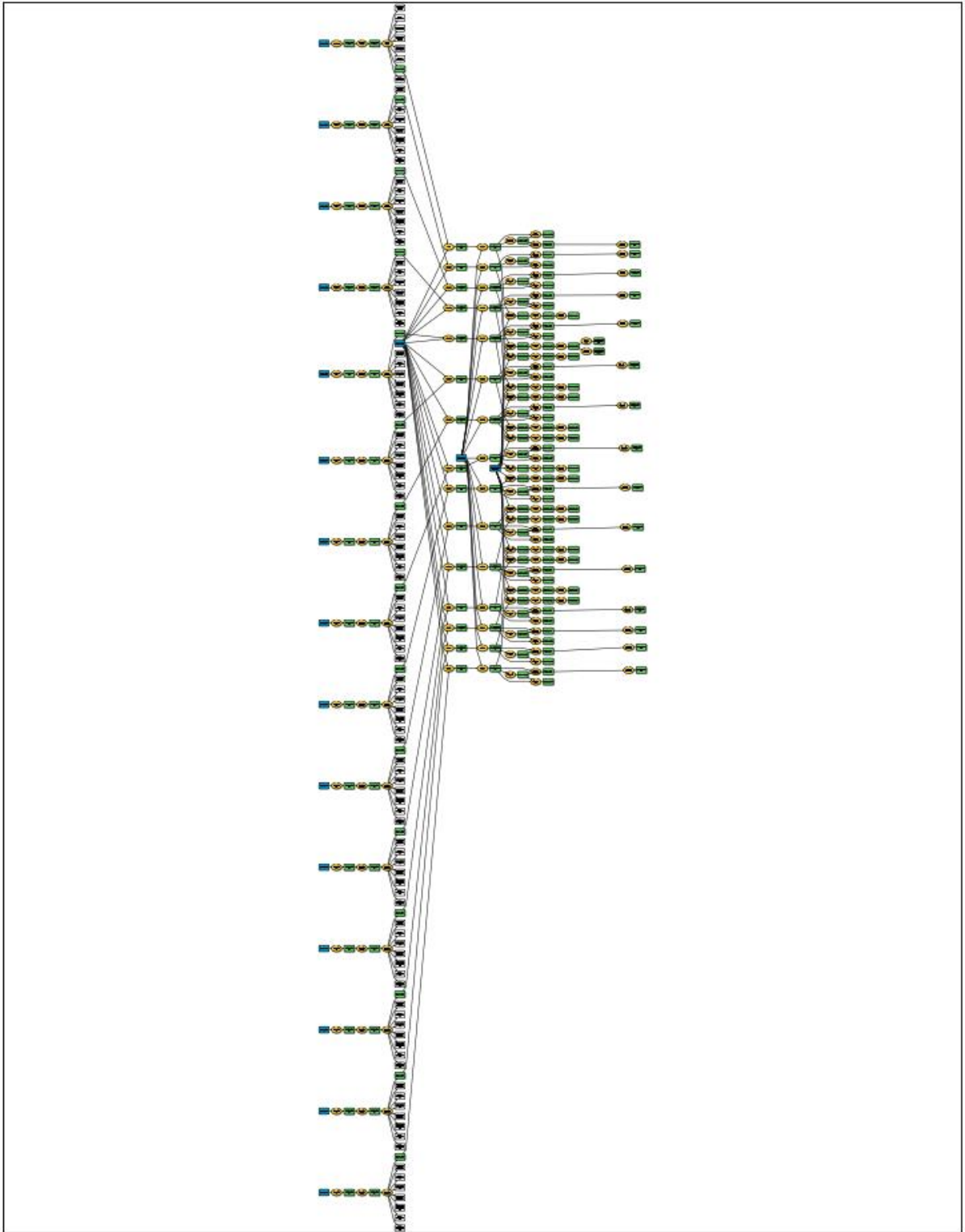
ANEXO A

MODEL BUILDER DE TEMPERATURA



Model Builder: Dissolve Temperatura 2001. Elaboración Propia.

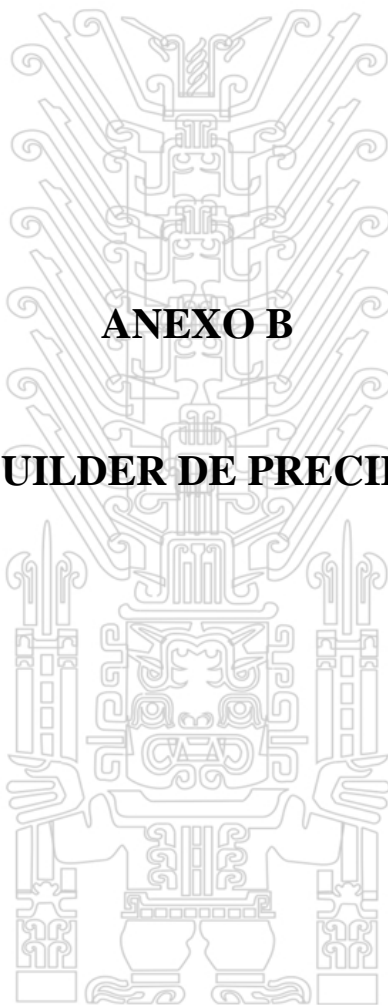




Model Builder: Proceso Temperatura Enero. Elaboración Propia.

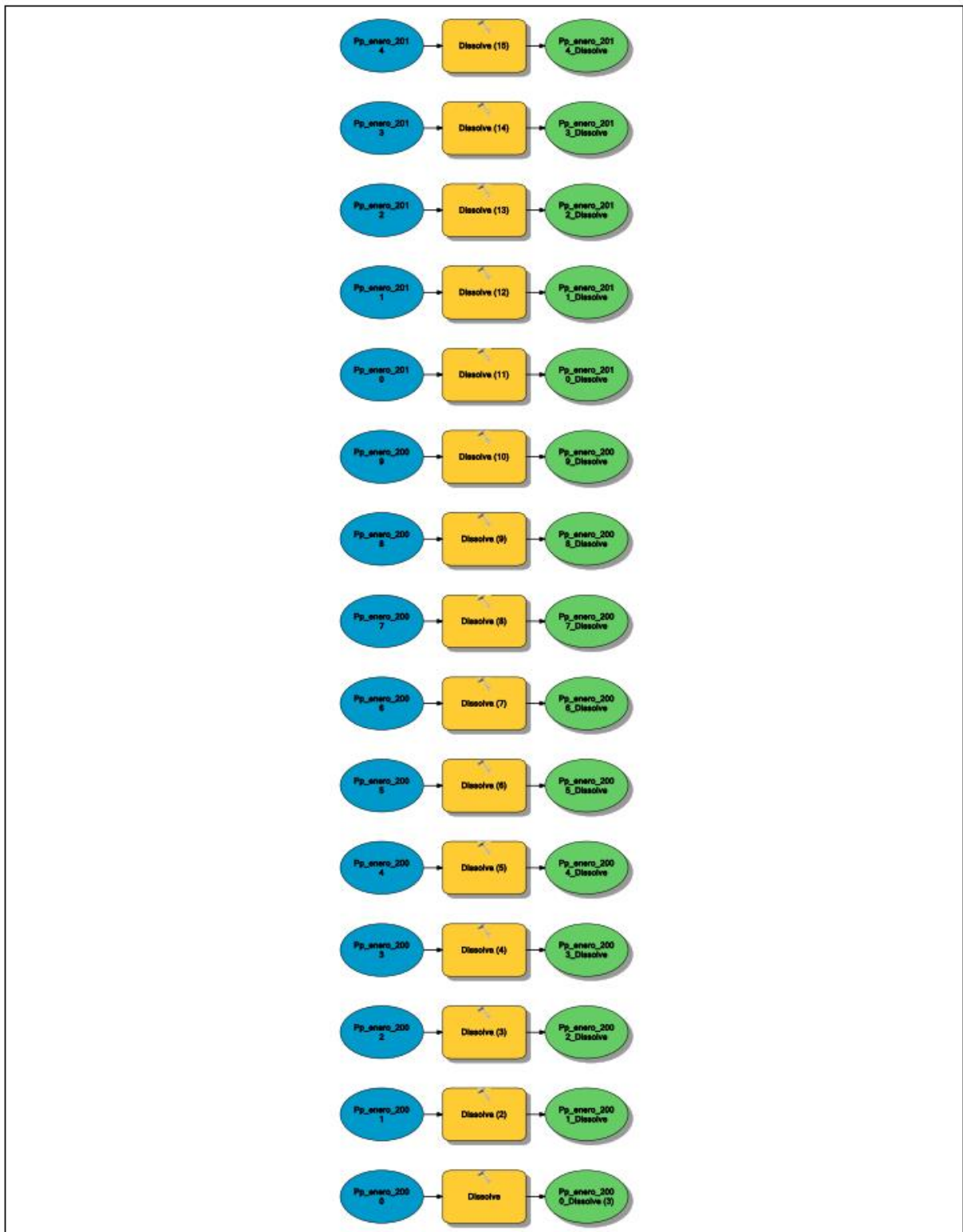
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

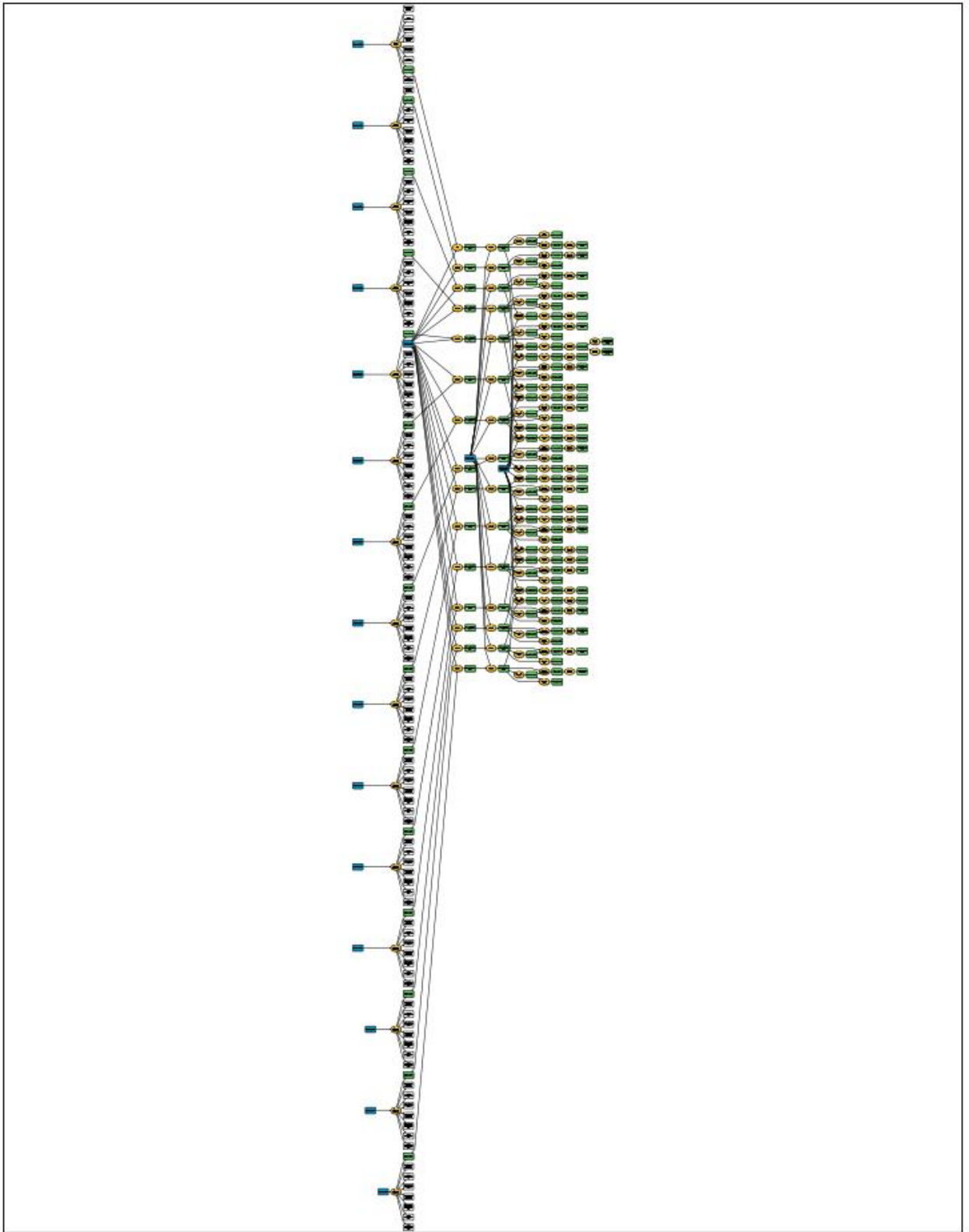


ANEXO B

MODEL BUILDER DE PRECIPITACIÓN

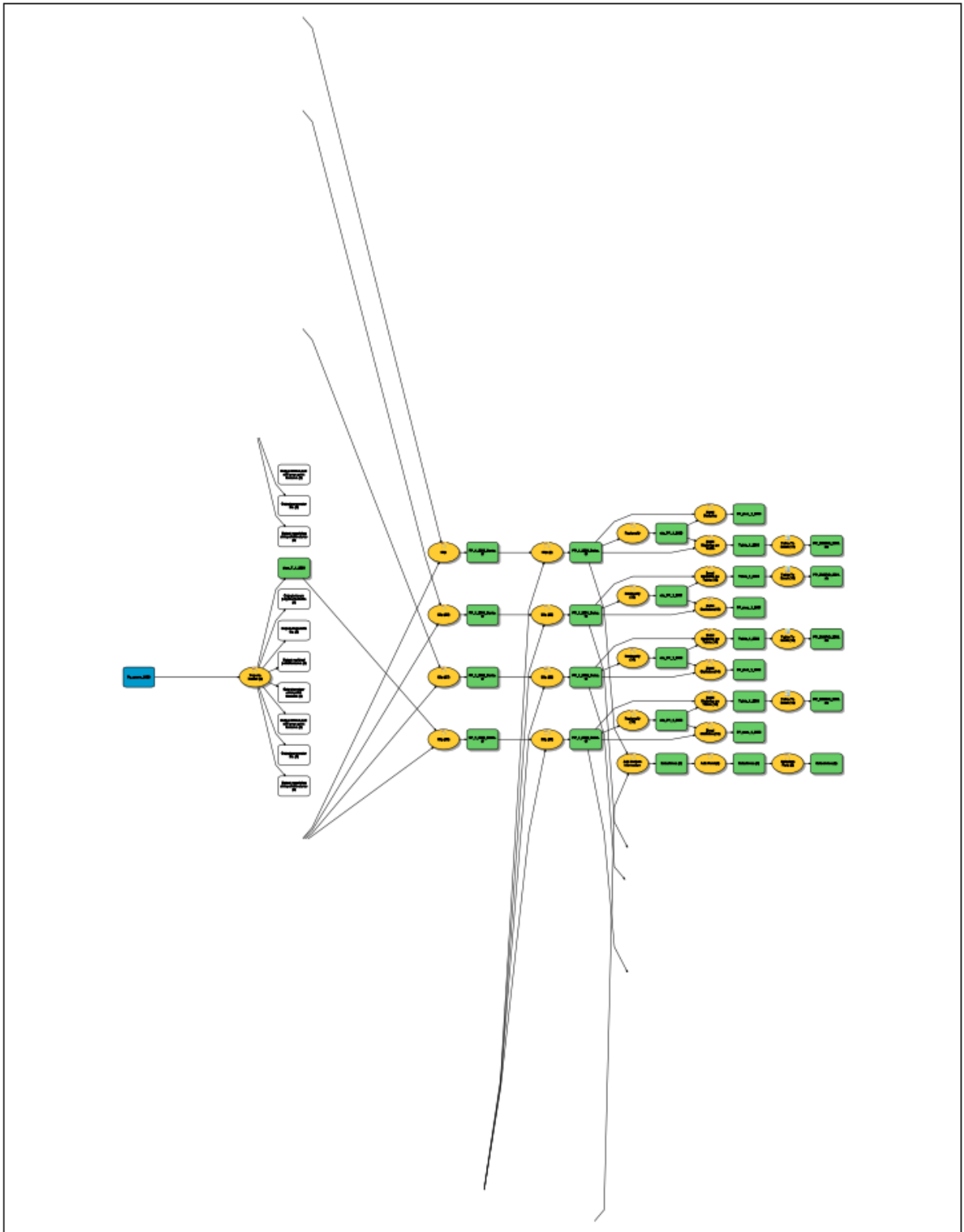


Model Builder: Dissolve Precipitación enero. Elaboración Propia.



Model Builder: Proceso Completo Precipitación enero. Elaboración Propia.
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

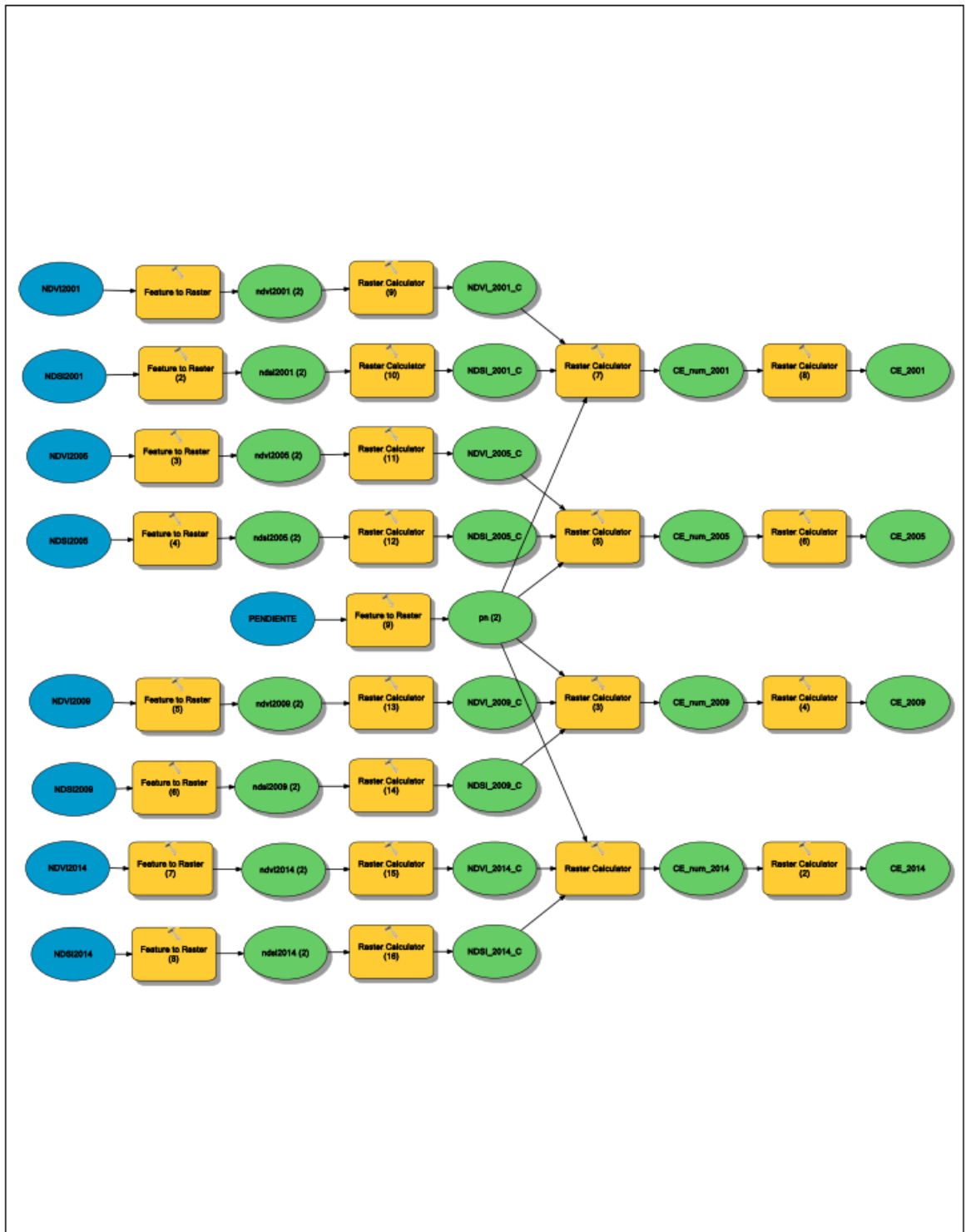


Model Builder: Proceso Ampliado Precipitación . Elaboración Propia.



ANEXO C

MODEL BUILDER DE CALIBRACIÓN DE SIMULACIÓN DE CAUDALES



Model Builder: Cálculo de CE. Elaboración Propia.



Model Builder: Cálculo de CE La Balsa. Elaboración Propia.

ANEXO D

SALIDAS MODEL BUILDER TEMPERATURA

2000

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	9	702	409881384.6	8.26	9.00	0.73	8.67	0.20	6087.12
2	10	1014	592050888.9	9.00	10.00	1.00	9.49	0.29	9624.98
3	11	1200	700651939.5	10.00	11.00	1.00	10.50	0.30	12600.15
4	12	3308	1931463847	11.00	12.00	1.00	11.56	0.26	38254.21
5	13	1518	886324703.4	12.00	13.00	1.00	12.37	0.26	18772.02
6	14	318	185672764	13.00	13.99	0.99	13.44	0.28	4272.55
7	15	131	76487836.73	14.00	14.90	0.90	14.35	0.22	1879.71
							4782533364	11.17	

2001

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	8	424	247563685.3	7.48	8.00	0.52	7.74	0.15	3282.84
2	9	4194	2448778528	8.00	9.00	1.00	8.72	0.24	36576.92
3	10	2471	1442759119	9.00	10.00	1.00	9.36	0.27	23123.62
4	11	695	405794248.3	10.00	11.00	1.00	10.43	0.28	7250.83
5	12	309	180417874.4	11.00	12.00	1.00	11.45	0.29	3536.51
6	13	98	57219908.39	12.00	12.77	0.76	12.25	0.18	1200.47
							4782533364	9.15	

2002

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	9	375	218953731.1	8.70	9.00	0.30	8.88	0.08	3328.83
2	10	3870	2259602505	9.00	10.00	1.00	9.71	0.27	37594.44
3	11	2378	1388458593	10.00	11.00	1.00	10.37	0.28	24652.86
4	12	848	495127370.6	11.00	12.00	1.00	11.45	0.29	9705.53
5	13	516	301280334	12.00	13.00	1.00	12.43	0.27	6412.14
6	14	191	111520433.7	13.00	13.98	0.98	13.42	0.26	2562.47
7	15	13	7590396.011	14.00	14.36	0.35	14.15	0.11	183.98
							4782533364	10.31	

2003

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	9	150	87581492.44	8.61	9.00	0.39	8.80	0.12	1319.58
2	10	623	363755131.9	9.01	10.00	0.99	9.56	0.29	5953.30
3	11	3892	2272447790	10.00	11.00	1.00	10.69	0.25	41624.73
4	12	2002	1168920986	11.00	12.00	1.00	11.44	0.28	22903.96
5	13	1008	588547629.2	12.00	13.00	1.00	12.44	0.28	12541.86
6	14	412	240557165.9	13.00	14.00	1.00	13.36	0.27	5502.90
7	15	103	60139291.47	14.02	14.85	0.83	14.36	0.22	1478.85
8	16	1	583876.6162	15.02	15.02	0.00	15.02	0.00	15.02
							4782533364	11.15	

2004

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	9	161	94004135.21	8.43	9.00	0.57	8.73	0.16	1405.66
2	10	481	280844652.4	9.00	10.00	1.00	9.56	0.31	4600.02

3	11	3663	2138740045	10.00	11.00	1.00	10.73	0.26	39307.79
4	12	2424	1415316918	11.00	12.00	1.00	11.39	0.29	27605.68
5	13	949	554098908.8	12.00	13.00	1.00	12.44	0.28	11809.49
6	14	402	234718399.7	13.00	14.00	1.00	13.40	0.28	5387.57
7	15	111	64810304.4	14.01	14.89	0.89	14.29	0.20	1586.53

4782533364

11.20

2005

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	10	153	89333122.28	9.87	10.00	0.13	9.93	0.04	1519.65
2	11	2217	1294454458	10.00	11.00	1.00	10.71	0.28	23740.43
3	12	4494	2623941513	11.00	12.00	1.00	11.31	0.26	50828.71
4	13	880	513811422.3	12.00	13.00	1.00	12.44	0.28	10944.31
5	14	363	211947211.7	13.00	14.00	1.00	13.42	0.29	4873.16
6	15	84	49045635.76	14.00	14.78	0.77	14.26	0.20	1197.85

4782533364

11.37

2006

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	8	246	143633647.6	7.12	8.00	0.88	7.62	0.25	1873.42
2	9	584	340983943.9	8.00	9.00	1.00	8.63	0.30	5038.25
3	10	2821	1647115934	9.00	10.00	1.00	9.61	0.25	27123.70
4	11	2455	1433417093	10.00	11.00	1.00	10.48	0.28	25735.27
5	12	1313	766629997.1	11.00	12.00	1.00	11.45	0.29	15029.97
6	13	649	378935923.9	12.00	12.99	0.99	12.35	0.25	8013.73
7	14	123	71816823.8	13.01	13.89	0.88	13.32	0.22	1638.53

4782533364

10.31

2007

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	9	66	38535856.67	8.92	9.00	0.08	8.96	0.02	591.40
2	10	1312	766046120.5	9.00	10.00	1.00	9.65	0.28	12654.41
3	11	4775	2788010843	10.00	11.00	1.00	10.42	0.22	49738.66
4	12	1219	711745595.2	11.00	12.00	1.00	11.44	0.29	13945.53
5	13	588	343319450.3	12.00	13.00	1.00	12.41	0.27	7298.52
6	14	217	126701225.7	13.00	13.99	0.99	13.43	0.27	2913.40
7	15	14	8174272.627	14.02	14.29	0.27	14.11	0.08	197.49

4782533364

10.66

2008

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	9	660	385358566.7	8.49	9.00	0.51	8.78	0.15	5791.77
2	10	3927	2292883472	9.00	10.00	1.00	9.68	0.26	38013.91
3	11	2231	1302628731	10.00	11.00	1.00	10.38	0.29	23150.07
4	12	852	497462877	11.00	12.00	1.00	11.45	0.28	9753.43
5	13	397	231799016.6	12.00	13.00	1.00	12.42	0.28	4929.19
6	14	124	72400700.41	13.00	13.97	0.97	13.28	0.20	1646.17

4782533364

10.17

2009

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	8	100	58387661.62	7.72	8.00	0.28	7.85	0.08	784.72
2	9	427	249315315.1	8.00	9.00	1.00	8.54	0.29	3645.84
3	10	1770	1033461611	9.00	10.00	1.00	9.69	0.24	17151.91
4	11	4446	2595915436	10.00	11.00	1.00	10.40	0.25	46226.04
5	12	966	564024811.3	11.00	12.00	1.00	11.40	0.29	11009.10
6	13	369	215450471.4	12.00	13.00	1.00	12.43	0.29	4585.79
7	14	113	65978057.63	13.00	13.84	0.84	13.24	0.17	1496.45
4782533364							10.37		

2010

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	10	406	237053906.2	9.52	10.00	0.48	9.75	0.14	3958.43
2	11	5265	3074110384	10.00	11.00	1.00	10.75	0.18	56585.22
3	12	1453	848372723.4	11.00	12.00	1.00	11.40	0.29	16563.06
4	13	657	383606936.9	12.00	13.00	1.00	12.45	0.28	8179.80
5	14	300	175162984.9	13.00	13.99	0.99	13.45	0.28	4036.02
6	15	110	64226427.79	14.00	14.82	0.82	14.25	0.20	1567.77
4782533364							11.10		

2011

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5	60	35032596.97	4.87	5.00	0.13	4.93	0.04	295.82
2	6	405	236470029.6	5.00	6.00	1.00	5.53	0.29	2238.20
3	7	888	518482435.2	6.00	7.00	1.00	6.61	0.26	5865.92
4	8	1843	1076084604	7.00	8.00	1.00	7.54	0.29	13895.95
5	9	2088	1219134375	8.00	9.00	1.00	8.51	0.29	17779.11
6	10	1878	1096520285	9.00	10.00	1.00	9.41	0.26	17681.27
7	11	545	318212755.8	10.00	11.00	1.00	10.45	0.29	5693.27
8	12	439	256321834.5	11.00	12.00	0.99	11.43	0.25	5017.26
9	13	45	26274447.73	12.01	12.39	0.38	12.15	0.11	546.85
4782533364							8.43		

2012

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	7	91	53132772.08	6.91	7.00	0.09	6.95	0.03	632.79
2	8	1835	1071413591	7.00	8.00	1.00	7.60	0.29	13943.34
3	9	2339	1365687405	8.00	9.00	1.00	8.44	0.29	19730.15
4	10	1741	1016529189	9.00	10.00	1.00	9.49	0.30	16518.85
5	11	1236	721671497.7	10.00	11.00	1.00	10.36	0.26	12802.99
6	12	475	277341392.7	11.00	12.00	1.00	11.52	0.30	5471.64
7	13	473	276173639.5	12.00	12.99	0.99	12.32	0.20	5828.44
8	14	1	583876.6162	13.01	13.01	0.00	13.01	0.00	13.01
4782533364							9.15		

2013

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	7	77	44958499.45	6.86	7.00	0.14	6.93	0.04	533.34

2	8	1257	733932906.6	7.01	8.00	0.99	7.51	0.29	9437.93
3	9	1968	1149069181	8.00	9.00	1.00	8.58	0.28	16883.81
4	10	2489	1453268898	9.00	10.00	1.00	9.45	0.27	23525.53
5	11	1096	639928771.4	10.00	11.00	1.00	10.43	0.28	11433.29
6	12	424	247563685.3	11.00	12.00	1.00	11.49	0.31	4873.12
7	13	622	363171255.3	12.00	12.98	0.98	12.35	0.20	7684.56
8	14	166	96923518.3	13.00	14.00	1.00	13.51	0.29	2242.80
9	15	92	53716648.69	14.01	14.76	0.75	14.30	0.20	1315.56

4782533364

9.51

2014

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	7	99	57803785.01	6.86	7.00	0.14	6.92	0.04	685.50
2	8	1436	838446820.9	7.00	8.00	1.00	7.50	0.29	10767.45
3	9	2609	1523334092	8.00	9.00	1.00	8.57	0.28	22363.95
4	10	2228	1300877101	9.00	10.00	1.00	9.43	0.29	21004.50
5	11	964	562857058.1	10.00	10.99	0.99	10.35	0.26	9972.76
6	12	419	244644302.2	11.00	12.00	1.00	11.51	0.29	4824.27
7	13	290	169324218.7	12.00	13.00	1.00	12.39	0.30	3592.75
8	14	141	82326602.89	13.00	13.99	0.98	13.39	0.27	1888.53
9	15	5	2919383.081	14.01	14.13	0.12	14.07	0.04	70.35

4782533364

9.18

ANEXO E

SALIDAS MODEL BUILDER PRECIPITACIÓN

2000									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	3	1760	1027622845	60.13	75.00	14.87	70.49	3.46	124063.77
2	4	6212	3627041540	75.00	99.99	24.99	85.00	6.43	528012.18
3	5	219	127868979	100.02	101.88	1.86	100.86	0.55	22087.73
							4782533364	82.31	

2001									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	7	462	269750996.7	156.15	174.97	18.82	167.22	4.85	77255.77
2	8	2769	1616754350	175.04	200.00	24.96	191.92	6.50	531413.37
3	9	4960	2896028017	200.01	224.47	24.46	208.12	6.53	1032281.64
							4782533364	200.34	

2002									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	2	113	65978057.63	37.88	49.87	11.99	45.23	3.16	5110.95
2	3	459	267999366.9	50.00	75.00	25.00	64.81	7.34	29749.37
3	4	2788	1627848006	75.08	100.00	24.92	90.32	5.93	251809.11
4	5	4282	2500159671	100.00	125.00	24.99	111.80	6.89	478742.65
5	6	549	320548262.3	125.00	127.87	2.87	126.48	0.85	69439.10
							4782533364	101.92	

2003									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	3	169	98675148.14	65.45	74.99	9.54	71.16	2.43	12026.77
2	4	1292	754368588.2	75.02	99.98	24.97	90.57	6.78	117019.27
3	5	3573	2086191150	100.00	124.98	24.98	112.60	7.24	402313.40
4	6	3157	1843298477	125.00	148.92	23.92	134.20	6.31	423680.98
							4782533364	116.60	

2004									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	96	56052155.16	16.30	24.99	8.68	21.95	2.30	2107.13
2	2	752	439075215.4	25.09	50.00	24.91	40.30	7.19	30304.17
3	3	4031	2353606640	50.01	75.00	24.99	62.86	7.37	253382.08
4	4	3312	1933799353	75.00	97.90	22.90	83.17	6.29	275471.35
							4782533364	68.52	

2005									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	2	44	25690571.11	45.69	49.99	4.30	48.38	1.18	2128.65
2	3	916	534830980.5	50.04	74.99	24.96	65.31	7.21	59823.71
3	4	2646	1544937527	75.01	99.99	24.98	86.32	6.79	228399.27
4	5	3122	1822862796	100.01	124.94	24.93	112.34	6.71	350733.81
5	6	1463	854211489.6	125.01	140.57	15.56	133.47	4.71	195263.55
							4782533364	102.11	

2006									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	3	65	37951980.06	70.89	74.98	4.09	73.57	1.09	4782.22
2	4	1662	970402936.2	75.02	100.00	24.98	90.23	6.90	149956.31
3	5	3111	1816440153	100.01	124.99	24.99	112.46	7.46	349862.07
4	6	2433	1420571807	125.01	150.00	24.98	135.85	7.29	330532.02
5	7	920	537166486.9	150.01	158.57	8.56	154.74	2.41	142358.81
							4782533364	119.34	

2007									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	2	48	28026077.58	48.02	49.99	1.98	49.11	0.51	2357.27
2	3	3214	1876579445	50.01	75.00	24.98	67.29	5.93	216255.77
3	4	4590	2679993669	75.01	100.00	24.99	82.37	6.59	378092.81
4	5	339	197934172.9	100.02	103.06	3.04	101.79	0.87	34505.58
							4782533364	77.06	

2008									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5	709	413968520.9	100.39	124.94	24.55	114.03	6.22	80849.01
2	6	1311	765462243.9	125.02	149.99	24.97	140.76	6.90	184536.91
3	7	4456	2601754202	150.00	174.99	24.99	163.12	7.10	726847.47
4	8	1715	1001348397	175.01	193.17	18.17	181.78	5.82	311749.17
							4782533364	159.20	

2009									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	4	2194	1281025296	77.65	100.00	22.34	89.03	7.06	195337.92
2	5	1546	902673248.7	100.00	125.00	25.00	110.84	7.43	171357.16
3	6	1691	987335358.1	125.02	149.99	24.98	138.79	7.22	234685.59
4	7	2760	1611499461	150.04	166.19	16.16	159.48	4.41	440157.91
							4782533364	127.16	

2010									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	3	1489	869392281.6	50.48	75.00	24.52	68.06	5.99	101346.46
2	4	2711	1582889507	75.00	99.99	24.99	85.64	7.48	232164.10
3	5	2836	1655874084	100.00	124.99	24.98	114.07	6.62	323502.01
4	6	740	432068696	125.00	149.98	24.98	135.52	7.13	100281.40
5	7	414	241724919.1	150.00	174.82	24.82	163.17	7.12	67552.95
6	8	1	583876.6162	175.40	175.40	0.00	175.40	0.00	175.40
							4782533364	100.72	

2011									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	2	577	336896807.6	34.48	49.97	15.49	43.41	4.39	25049.63
2	3	6453	3767755805	50.02	74.96	24.94	58.57	4.67	377952.77
3	4	1161	677880751.4	75.01	90.72	15.71	84.60	4.33	98219.65
							4782533364	61.19	

2012									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	2	181	105681667.5	39.35	49.97	10.62	45.53	2.74	8240.92
2	3	857	500382260.1	50.02	75.00	24.97	65.07	6.84	55762.44
3	4	1716	1001932273	75.02	100.00	24.98	88.59	6.95	152012.39
4	5	2057	1201034200	100.00	124.98	24.98	113.02	7.28	232486.06
5	6	1220	712329471.8	125.02	150.00	24.98	136.11	7.32	166051.46
6	7	872	509140409.4	150.01	174.97	24.97	162.38	7.21	141599.67
7	8	825	481698208.4	175.01	199.98	24.97	187.73	7.10	154880.12
8	9	359	209611705.2	200.00	224.99	24.99	211.93	6.65	76083.16
9	10	104	60723168.09	225.14	241.34	16.20	232.48	4.69	24177.44
4782533364							123.46		

2013									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	311	181585627.6	0.46	25.00	24.54	17.33	6.21	5389.02
2	2	902	526656707.8	25.02	49.99	24.97	38.91	7.11	35097.50
3	3	1738	1014777559	50.02	74.99	24.98	62.10	7.09	107937.74
4	4	1458	851292106.5	75.02	99.99	24.98	86.14	6.68	125588.40
5	5	771	450168871.1	100.01	124.87	24.86	111.46	7.22	85938.65
6	6	563	328722534.9	125.04	150.00	24.95	137.05	7.20	77161.10
7	7	499	291354431.5	150.06	174.99	24.93	162.30	7.24	80986.88
8	8	471	275005886.2	175.05	199.94	24.89	187.55	7.25	88333.80
9	9	458	267415490.2	200.05	224.95	24.91	212.59	7.24	97364.00
10	10	477	278509145.9	225.15	249.97	24.82	237.97	7.29	113511.55
11	11	440	256905711.1	250.14	274.85	24.71	260.17	6.73	114476.42
12	12	103	60139291.47	275.04	282.25	7.21	279.06	2.10	28743.61
4782533364							117.27		

2014									
Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	2	207	120862459.6	36.58	49.92	13.35	43.62	3.54	9029.54
2	3	3342	1951315651	50.01	75.00	24.98	64.67	6.35	216141.13
3	4	2092	1221469881	75.01	99.99	24.99	85.87	7.26	179648.39
4	5	1423	830856424.9	100.01	125.00	24.99	112.93	7.36	160700.70
5	6	948	553515032.2	125.00	149.98	24.98	135.47	7.68	128422.76
6	7	179	104513914.3	150.01	155.21	5.20	153.01	1.53	27387.90
4782533364							88.06		

ANEXO F

CAUDALES SIMULADOS Y REGISTRADOS

CAUDALES SIMULADOS Y REGISTRADOS
(Metros Cúbicos por segundo)

Fecha				Rio Santa SIMULADO	Estación La Balsa REGISTRADO	# Dias
Ene-00	2000	1	2000.01	97.82	110.13	31
Feb-00	2000	2	2000.02	221.52	332.25	28
Mar-00	2000	3	2000.03	171.29	333.38	31
Abr-00	2000	4	2000.04	95.99	231.64	30
May-00	2000	5	2000.05	115.90	145.97	31
Jun-00	2000	6	2000.06	67.76	63.31	30
Jul-00	2000	7	2000.07	49.89	43.83	31
Ago-00	2000	8	2000.08	52.55	43.84	31
Set-00	2000	9	2000.09	57.48	45.52	30
Oct-00	2000	10	2000.10	84.37	53.1	31
Nov-00	2000	11	2000.11	58.96	61.25	30
Dic-00	2000	12	2000.12	213.44	93.73	31
Ene-01	2001	1	2001.01	237.66	367.91	31
Feb-01	2001	2	2001.02	191.17	307.28	28
Mar-01	2001	3	2001.03	235.51	500.89	31
Abr-01	2001	4	2001.04	88.36	227.11	30
May-01	2001	5	2001.05	90.11	77.96	31
Jun-01	2001	6	2001.06	43.85	56.63	30
Jul-01	2001	7	2001.07	57.27	47.84	31
Ago-01	2001	8	2001.08	28.88	44.47	31
Set-01	2001	9	2001.09	111.93	49.76	30
Oct-01	2001	10	2001.10	81.76	57.37	31
Nov-01	2001	11	2001.11	131.84	172.96	30
Dic-01	2001	12	2001.12	139.52	180.73	31
Ene-02	2002	1	2002.01	122.13	154.35	31
Feb-02	2002	2	2002.02	143.79	202.81	28
Mar-02	2002	3	2002.03	208.78	383.8	31
Abr-02	2002	4	2002.04	106.18	283.62	30
May-02	2002	5	2002.05	129.10	95.01	31
Jun-02	2002	6	2002.06	85.62	55.49	30
Jul-02	2002	7	2002.07	119.88	50.97	31
Ago-02	2002	8	2002.08	99.72	41.16	31
Set-02	2002	9	2002.09	74.53	41.92	30
Oct-02	2002	10	2002.10	94.20	73.75	31
Nov-02	2002	11	2002.11	152.07	166.6	30
Dic-02	2002	12	2002.12	165.99	185.11	31
Ene-03	2003	1	2003.01	133.83	165.07	31
Feb-03	2003	2	2003.02	207.43	221.19	28
Mar-03	2003	3	2003.03	207.07	258.16	31
Abr-03	2003	4	2003.04	113.14	190.29	30
May-03	2003	5	2003.05	169.53	85.06	31
Jun-03	2003	6	2003.06	96.59	56.34	30

Jul-03	2003	7	2003.07	41.44	46.92	31
Ago-03	2003	8	2003.08	94.50	44.25	31
Set-03	2003	9	2003.09	143.18	42.52	30
Oct-03	2003	10	2003.10	94.63	63.1	31
Nov-03	2003	11	2003.11	151.95	60.81	30
Dic-03	2003	12	2003.12	113.19	135.42	31
Ene-04	2004	1	2004.01	95.43	104.53	31
Feb-04	2004	2	2004.02	191.93	167.17	28
Mar-04	2004	3	2004.03	182.93	137.96	31
Abr-04	2004	4	2004.04	113.15	123.91	30
May-04	2004	5	2004.05	91.82	66.44	31
Jun-04	2004	6	2004.06	5.39	44.81	30
Jul-04	2004	7	2004.07	80.29	36.43	31
Ago-04	2004	8	2004.08	140.15	34.9	31
Set-04	2004	9	2004.09	91.35	33.85	30
Oct-04	2004	10	2004.10	156.17	81.86	31
Nov-04	2004	11	2004.11	154.54	149.15	30
Dic-04	2004	12	2004.12	134.95	167.65	31
Ene-05	2005	1	2005.01	143.54	98.70	31
Feb-05	2005	2	2005.02	186.21	104.59	28
Mar-05	2005	3	2005.03	224.58	151.99	31
Abr-05	2005	4	2005.04	236.89	88.92	30
May-05	2005	5	2005.05	81.15	48.05	31
Jun-05	2005	6	2005.06	143.83	36.07	30
Jul-05	2005	7	2005.07	150.08	32.23	31
Ago-05	2005	8	2005.08	57.44	30.60	31
Set-05	2005	9	2005.09	158.19	35.00	30
Oct-05	2005	10	2005.10	85.57	43.50	31
Nov-05	2005	11	2005.11	97.24	57.27	30
Dic-05	2005	12	2005.12	153.06	92.35	31
Ene-06	2006	1	2006.01	166.77	79.22	31
Feb-06	2006	2	2006.02	154.86	123.17	28
Mar-06	2006	3	2006.03	231.11	231.41	31
Abr-06	2006	4	2006.04	236.89	268.43	30
May-06	2006	5	2006.05	231.66	47.59	31
Jun-06	2006	6	2006.06	68.90	35.91	30
Jul-06	2006	7	2006.07	78.85	35.91	31
Ago-06	2006	8	2006.08	92.24	27.57	31
Set-06	2006	9	2006.09	108.96	31.53	30
Oct-06	2006	10	2006.10	105.47	40.26	31
Nov-06	2006	11	2006.11	115.06	57.27	30
Dic-06	2006	12	2006.12	166.91	121.55	31
Ene-07	2007	1	2007.01	93.23	132.68	31
Feb-07	2007	2	2007.02	121.19	114.83	28
Mar-07	2007	3	2007.03	235.87	284.91	31
Abr-07	2007	4	2007.04	95.22	218.85	30
May-07	2007	5	2007.05	86.68	69.58	31

Jun-07	2007	6	2007.06	132.93	35.02	30
Jul-07	2007	7	2007.07	102.15	26.76	31
Ago-07	2007	8	2007.08	93.44	27.95	31
Set-07	2007	9	2007.09	135.40	25.64	30
Oct-07	2007	10	2007.10	90.47	40.02	31
Nov-07	2007	11	2007.11	175.40	59.84	30
Dic-07	2007	12	2007.12	112.76	61.87	31
Ene-08	2008	1	2008.01	194.45	149.20	31
Feb-08	2008	2	2008.02	144.49	188.85	28
Mar-08	2008	3	2008.03	144.40	198.21	31
Abr-08	2008	4	2008.04	131.32	146.33	30
May-08	2008	5	2008.05	149.84	51.86	31
Jun-08	2008	6	2008.06	203.01	30.96	30
Jul-08	2008	7	2008.07	82.32	26.20	31
Ago-08	2008	8	2008.08	64.84	21.73	31
Set-08	2008	9	2008.09	224.38	21.87	30
Oct-08	2008	10	2008.10	146.13	48.53	31
Nov-08	2008	11	2008.11	130.81	62.04	30
Dic-08	2008	12	2008.12	104.43	62.37	31
Ene-09	2009	1	2009.01	160.68	156.30	31
Feb-09	2009	2	2009.02	96.03	304.64	28
Mar-09	2009	3	2009.03	263.72	403.39	31
Abr-09	2009	4	2009.04	172.60	335.36	30
May-09	2009	5	2009.05	79.75	84.64	31
Jun-09	2009	6	2009.06	215.00	40.55	30
Jul-09	2009	7	2009.07	29.88	26.35	31
Ago-09	2009	8	2009.08	126.52	27.21	31
Set-09	2009	9	2009.09	98.74	31.62	30
Oct-09	2009	10	2009.10	116.66	52.66	31
Nov-09	2009	11	2009.11	95.83	94.24	30
Dic-09	2009	12	2009.12	113.97	225.35	31
Ene-10	2010	1	2010.01	149.64	175.79	31
Feb-10	2010	2	2010.02	113.18	167.07	28
Mar-10	2010	3	2010.03	183.42	173.27	31
Abr-10	2010	4	2010.04	57.87	132.85	30
May-10	2010	5	2010.05	87.99	64.59	31
Jun-10	2010	6	2010.06	105.78	34.15	30
Jul-10	2010	7	2010.07	53.72	30.26	31
Ago-10	2010	8	2010.08	133.67	32.98	31
Set-10	2010	9	2010.09	75.93	29.01	30
Oct-10	2010	10	2010.10	97.83	38.88	31
Nov-10	2010	11	2010.11	60.87	62.08	30
Dic-10	2010	12	2010.12	66.33	62.81	31
Ene-11	2011	1	2011.01	50.45	342.65	31
Feb-11	2011	2	2011.02	82.78	161.13	28
Mar-11	2011	3	2011.03	110.32	143.91	31
Abr-11	2011	4	2011.04	82.86	184.77	30

May-11	2011	5	2011.05	73.49	58.56	31
Jun-11	2011	6	2011.06	69.07	35.10	30
Jul-11	2011	7	2011.07	47.31	28.73	31
Ago-11	2011	8	2011.08	25.21	26.44	31
Set-11	2011	9	2011.09	43.03	24.04	30
Oct-11	2011	10	2011.10	70.43	28.46	31
Nov-11	2011	11	2011.11	83.02	56.06	30
Dic-11	2011	12	2011.12	105.89	123.27	31
Ene-12	2012	1	2012.01	99.87	137.40	31
Feb-12	2012	2	2012.02	163.55	223.14	28
Mar-12	2012	3	2012.03	168.40	153.08	31
Abr-12	2012	4	2012.04	99.20	166.40	30
May-12	2012	5	2012.05	96.85	73.75	31
Jun-12	2012	6	2012.06	72.18	33.13	30
Jul-12	2012	7	2012.07	86.03	26.57	31
Ago-12	2012	8	2012.08	40.90	24.83	31
Set-12	2012	9	2012.09	51.31	25.76	30
Oct-12	2012	10	2012.10	74.14	36.72	31
Nov-12	2012	11	2012.11	34.33	71.86	30
Dic-12	2012	12	2012.12	62.24	71.86	31
Ene-13	2013	1	2013.01	64.64	87.43	31
Feb-13	2013	2	2013.02	112.45	122.43	28
Mar-13	2013	3	2013.03	102.54	262.41	31
Abr-13	2013	4	2013.04	45.22	103.63	30
May-13	2013	5	2013.05	34.54	51.91	31
Jun-13	2013	6	2013.06	66.85	28.36	30
Jul-13	2013	7	2013.07	19.84	22.24	31
Ago-13	2013	8	2013.08	28.38	24.48	31
Set-13	2013	9	2013.09	34.37	26.89	30
Oct-13	2013	10	2013.10	67.06	50.17	31
Nov-13	2013	11	2013.11	52.82	52.61	30
Dic-13	2013	12	2013.12	79.71	99.57	31
Ene-14	2014	1	2014.01	69.52	96.41	31
Feb-14	2014	2	2014.02	148.14	172.55	28
Mar-14	2014	3	2014.03	163.42	257.58	31
Abr-14	2014	4	2014.04	60.72	91.64	30
May-14	2014	5	2014.05	46.25	81.46	31
Jun-14	2014	6	2014.06	69.65	37.56	30
Jul-14	2014	7	2014.07	28.50	24.72	31
Ago-14	2014	8	2014.08	20.25	21.33	31
Set-14	2014	9	2014.09	43.82	24.67	30
Oct-14	2014	10	2014.10	59.58	35.16	31
Nov-14	2014	11	2014.11	74.80	53.85	30
Dic-14	2014	12	2014.12	68.62	91.98	31
					104.95	
					18891.18	