



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

**FACULTAD DE INGENIERIAS Y  
ARQUITECTURA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Análisis de alternativas de downscaling para zonas de  
montaña**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO CIVIL**

**Autor:** Mendez Camacho, Bryan Alexander

**Director:** Oñate Valdivieso, Fernando Rodrigo

LOJA

2022



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2022

## Aprobación del Director del Trabajo de Titulación

Loja, 31 de agosto de 2022

Magister.

Belizario Amador Zárate Torres

**Director de la carrera de Ingeniería Civil**

Ciudad. -

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: Análisis de alternativas de downscaling para zonas de montaña realizado por Bryan Alexander Mendez Camacho ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director: PhD. Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso

C.I.: 1103123389

Correo electrónico: [fronate@utpl.edu.ec](mailto:fronate@utpl.edu.ec)

### **Declaración de autoría y cesión de derechos**

Yo, Bryan Alexander Mendez Camacho, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor (a) del Trabajo de Titulación denominado: Análisis de alternativas de downscaling para zonas de montaña, de la carrera de Ingeniería Civil, específicamente de los contenidos comprendidos en: Capítulo uno. Estado del Arte, Capítulo dos. Materiales y Métodos, Capítulo tres. Resultados, siendo PhD. Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad", en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autor: Bryan Alexander Mendez Camacho

C.I.: 1752333433

Correo electrónico: [bamendez@utpl.edu.ec](mailto:bamendez@utpl.edu.ec)

### **Dedicatoria**

Mi trabajo de titulación está dirigido principalmente a Dios por darme vida, salud para poder llegar a este punto y darme la oportunidad de cumplir todos mis sueños en el transcurso de mi vida.

A mis padres principalmente, ya que por su lucha constante desde mi niñez supieron motivarme para cumplir logros importantes.

A cada uno de los integrantes de mi familia, a los que siguen a mi lado y los que guían mis pasos desde el cielo, por su amor incondicional y porque cada uno a su manera ha estado siempre presente en mis proyectos estudiantiles y en el diario vivir.

Y dedicada especialmente de todo corazón a la mujer que me dio la vida mi madre Gladis (+), la cual a pesar de que no esté presente, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde cielo, siempre estuvo para mí y me apoyo en mis sueños, yo se que ella está contenta por un sueño más cumplido y a pesar de que no esté conmigo sé que ella está orgullosa de mí y gracias por ese amor incondicional que nunca me falta desde donde esté.

A mi abuelo Ángel (+) que siempre fue mi motivación para seguir esta carrera me guio por un buen camino con la enseñanza de sus valores.

### **Agradecimiento**

Quiero agradecer a mi familia mis abuelos: Nieves, Angel (+), Martha, Luis (+), mis padres: Gladis (+), Liduberto, mi hermano: Jonathan que siempre ha estado junto a mi, brindándome siempre su apoyo y confianza en todo este proceso, mis tías: Milta, Lilia, Amalia, Héctor, Nelsón, mis primos: Carmen, Walter (+), Fredy (+), Ángel, Estefanía, Héctor, Carlos, Cristian, Carlos que me apoyaron incondicionalmente para concluir esta etapa de mi vida y mi gratitud principalmente a mis padres por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida hasta ahora.

A mis amigos, ya que me han sabido brindar su amistad incondicional durante estos años siguiendo un objetivo en común.

A una persona muy especial C.R. que está aquí apoyándome en las buenas y las malas, gracias por todo.

A mis docentes en especial al Ph.d Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso por su comprensión, paciencia y dedicación

## Índice de Contenido

Carátula.....	I
Aprobación del Director del Trabajo de Titulación.....	II
Declaración de autoría y cesión de derechos.....	III
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Índice de Contenido .....	VII
Índice de Tablas.....	IX
Índice de Figuras .....	X
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción .....	3
Capítulo uno .....	6
Estado del arte .....	6
1.1 Imágenes satelitales.....	6
1.1.1 Imágenes satelitales CHIRPS. ....	7
1.1.2 Imágenes satelitales ERA5 .....	7
1.2 Downscaling.....	7
1.2.1 <i>Downscaling dinámico.</i> .....	8
1.2.2 <i>Downscaling estadístico.</i> .....	8
1.3 Clima y tiempo. ....	8
1.4 Temperatura. ....	8
1.5 Precipitación. ....	9
Capítulo dos .....	10
Materiales y métodos .....	10
2.1 Área de estudio .....	10
2.2 Datos y Materiales. ....	12
2.2.1 <i>Datos metereológicos.</i> .....	12
2.2.2 <i>Imágenes satelitales</i> .....	13

**2.2.3 Herramienta Geographically Weighted Regression (GWR) for Grid  
Downscaling. 13**

<b>2.3 Metodología.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1 Recolección de datos.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.2 Aplicación de downscaling.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.3 Análisis de resultados.....</b>	<b>15</b>
<b>Capítulo tres .....</b>	<b>18</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Recolección de datos.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Aplicación de downscaling .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.1 Temperaturas máximas.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2 Temperaturas mínimas.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.3 Precipitación.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 Análisis de resultados.....</b>	<b>23</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>27</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>28</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>29</b>
<b>Apéndice.....</b>	<b>33</b>
<b>Apéndice A: Aplicación de downscaling.....</b>	<b>33</b>
<b>Apéndice B: Resultados de aceptabilidad de Nash-Sutcliffe.....</b>	<b>39</b>
<b>Apéndice C: Curvas de datos obtenidos a partir de INAMHI y downscaling. ....</b>	<b>45</b>

**Índice de Tablas**

<b>Tabla 1</b> .....	<b>12</b>
<b>Tabla 2</b> .....	<b>13</b>
<b>Tabla 3</b> .....	<b>17</b>
<b>Tabla 4</b> .....	<b>18</b>
<b>Tabla 5</b> .....	<b>20</b>
<b>Tabla 6</b> .....	<b>21</b>
<b>Tabla 7</b> .....	<b>23</b>
<b>Tabla 8</b> .....	<b>26</b>
<b>Tabla 9</b> .....	<b>39</b>
<b>Tabla 10</b> .....	<b>39</b>
<b>Tabla 11</b> .....	<b>39</b>
<b>Tabla 12</b> .....	<b>40</b>
<b>Tabla 13</b> .....	<b>40</b>
<b>Tabla 14</b> .....	<b>40</b>
<b>Tabla 15</b> .....	<b>41</b>
<b>Tabla 16</b> .....	<b>41</b>
<b>Tabla 17</b> .....	<b>42</b>
<b>Tabla 18</b> .....	<b>42</b>
<b>Tabla 19</b> .....	<b>43</b>
<b>Tabla 20</b> .....	<b>43</b>
<b>Tabla 21</b> .....	<b>44</b>

**Índice de Figuras**

<b>Figura 1</b> .....	<b>11</b>
<b>Figura 2</b> .....	<b>14</b>
<b>Figura 3</b> .....	<b>15</b>
<b>Figura 4</b> .....	<b>15</b>
<b>Figura 5</b> .....	<b>19</b>
<b>Figura 6</b> .....	<b>19</b>
<b>Figura 7</b> .....	<b>20</b>
<b>Figura 8</b> .....	<b>21</b>
<b>Figura 9</b> .....	<b>22</b>
<b>Figura 10</b> .....	<b>22</b>
<b>Figura 11</b> .....	<b>24</b>
<b>Figura 12</b> .....	<b>24</b>
<b>Figura 13</b> .....	<b>25</b>
<b>Figura 14</b> .....	<b>33</b>
<b>Figura 15</b> .....	<b>33</b>
<b>Figura 16</b> .....	<b>34</b>
<b>Figura 17</b> .....	<b>34</b>
<b>Figura 18</b> .....	<b>34</b>
<b>Figura 19</b> .....	<b>34</b>
<b>Figura 20</b> .....	<b>35</b>
<b>Figura 21</b> .....	<b>35</b>
<b>Figura 22</b> .....	<b>35</b>
<b>Figura 23</b> .....	<b>35</b>
<b>Figura 24</b> .....	<b>36</b>
<b>Figura 25</b> .....	<b>36</b>

<b>Figura 26</b> .....	<b>36</b>
<b>Figura 27</b> .....	<b>36</b>
<b>Figura 28</b> .....	<b>37</b>
<b>Figura 29</b> .....	<b>37</b>
<b>Figura 30</b> .....	<b>37</b>
<b>Figura 31</b> .....	<b>37</b>
<b>Figura 32</b> .....	<b>38</b>
<b>Figura 33</b> .....	<b>38</b>
<b>Figura 34</b> .....	<b>38</b>
<b>Figura 35</b> .....	<b>38</b>
<b>Figura 36</b> .....	<b>45</b>
<b>Figura 37</b> .....	<b>45</b>
<b>Figura 38</b> .....	<b>45</b>
<b>Figura 39</b> .....	<b>45</b>
<b>Figura 40</b> .....	<b>46</b>
<b>Figura 41</b> .....	<b>46</b>
<b>Figura 42</b> .....	<b>46</b>
<b>Figura 43</b> .....	<b>46</b>
<b>Figura 44</b> .....	<b>47</b>
<b>Figura 45</b> .....	<b>47</b>
<b>Figura 46</b> .....	<b>47</b>
<b>Figura 47</b> .....	<b>47</b>
<b>Figura 48</b> .....	<b>48</b>
<b>Figura 49</b> .....	<b>48</b>
<b>Figura 50</b> .....	<b>48</b>
<b>Figura 51</b> .....	<b>48</b>

<b>Figura 52 .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 53 .....</b>	<b>49</b>

## Resumen

El presente trabajo de fin de titulación utiliza el método de downscaling y se aplica a imágenes satelitales para este caso en zonas montañosas, que fue desarrollado a través de la herramienta GRW for Gird Downscalind del software SagaGis, que permite ingresar imágenes satelitales y a partir de un Digital Elevation Model (DEM) del área de estudio, procede a realizar una correlación dando como resultado imágenes satelitales con mejor resolución.

La validación de resultados se realiza utilizando los datos recolectados por las estaciones meterológicas y los resultados obtenidos mediante el downscaling, su efectividad se determina mediante la eficiencia de Nash-Sutcliffe. Al emplear la herramienta del software SagaGis se obtuvo mejores resultados en la validación, cuando existen mayor cantidad de estaciones metereologicas con datos reales en el área de estudio.

**Palabras clave:** Downscaling, SagaGis, Validación, Correlación

### **Abstract**

This end-of-degree project uses the downscaling method and is applied to satellite images for this case in mountainous areas, which was developed through the GRW for Gird Downscaling tool of the SagaGis software, which allows entering satellite images and from a Digital Elevation Model (DEM) of the study area, proceeds to perform a correlation, resulting in satellite images with better resolution.

The validation of results is carried out using the data collected by the meteorological stations and the results obtained through downscaling, its effectiveness is determined by the Nash-Sutcliffe efficiency. When using the SagaGis software tool, better results were obtained in the validation, when there are more meteorological stations with real data in the study area.

**Keywords:** Downscaling, SagaGis, Validation, Correlation

## Introducción

En los datos obtenidos de estaciones meteorológicas, los registros no se encuentran completos por diversas razones, como errores humanos o averías en los equipos de medición. Además, en ciertos lugares no existen datos meteorológicos, ya sea por la inaccesibilidad de instalar estaciones meteorológicas o la dificultad de proporcionar mantenimiento a los equipos, lo que genera que en algunas zonas no se obtenga información meteorológica precisa (Armenta et al., 2016).

En la actualidad existen diferentes bases de datos globales de variables meteorológicas con buenas características temporales y espaciales, pero al ser productos de escala global su resolución no es adecuada para porciones pequeñas de territorio y más aún en zonas montañosas que presentan alta variabilidad meteorológica y climática.

Para tener información adecuada para áreas pequeñas existen varios software de disminución de escala (downscaling), que permiten utilizar datos meteorológicos existentes en las bases de datos globales (Cano et al., 1993). El desarrollo del presente TFT está relacionado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) acción por el cambio climático, debido a que proporcionara información oportuna para fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países (IDDH, 2017).

El propósito del downscaling es obtener imágenes de alta resolución con la mayor precisión posible en la región de interés (Lo et al., 2008). El downscaling se utiliza ampliamente para mejorar la resolución espacial y/o temporal de las variables meteorológicas de los modelos climáticos regionales y globales (Gutmann et al., 2012).

La técnica primordial que se utiliza es el downscaling estadístico, que se define como un modelo de técnicas y métodos de carácter probabilístico, que permiten establecer la variación de una funcionalidad, con base a valores conocidos de dicha variable, en épocas pasadas, y producir de esta manera una extrapolación hacia valores futuros (García, 2012).

El objetivo en el presente trabajo es analizar alternativas de downscaling en zonas montañosas, recopilando metodologías y software de downscaling e información climática. De igual forma seleccionar diferentes zonas de estudio en las que exista información meteorológica registrada mediante estaciones meteorológicas para finalmente evaluar la aplicación del downscaling mediante parámetros estadísticos.

Se procede a investigar los softwares y seleccionar el que permite determinar la variabilidad de una función, en base a valores conocidos de esa variable. Se define el área de estudio, luego se procede a obtener imágenes satelitales y datos de bases meteorológicas de la zona seleccionada.

El análisis de los resultados de downscaling permite inicialmente conocer la calidad de la información disponible, al comparar los datos obtenidos del downscaling con los datos de estaciones medidas del área de estudio (Esteban y Alvarado, 2015).

Con el fin de validar el presente TFT, se analizará, la correlación de los resultados conseguidos, y la confiabilidad de los mismos estará determinada por datos obtenidos de estaciones meteorológicas locales que tengan una alta fiabilidad en la medición de sus datos (Pryor et al., 2005).

En esencia, la reducción de escala espacial intenta capturar la heterogeneidad de la subcuadrícula conservando las características en la escala original (Fang et al., 2013). Siguiendo este enfoque, se establece primero una relación empírica que vincula información de imágenes de gran escala y variables locales para el clima actual y luego se aplica para derivar el clima en zonas montañosas (Boé et al., 2007). La reducción de escala por medio de técnicas empírico-estadísticas además puede considerarse como una herramienta estadística avanzada para examinar los resultados de los modelos (Benestad et al., 2008).

La reducción de escala es importante porque los modelos climáticos trabajan con grandes resoluciones (50-200 km) y, a menudo, tergiversan los extremos en las variables meteorológicas como la temperatura y la precipitación que son importantes para los modelos

hidrológicos. Estos métodos de reducción de escala se basan en estimaciones actuales de las distribuciones espaciales de estas variables (Gutmann et al., 2012).

En el 2016 se implementó un modelo hidrológico que utilizó imágenes obtenidas a partir de downscaling, realizando una calibración regional de los parámetros para la evaluación del impacto del caudal en la cuenca del río de la ciudad de Bogotá en Colombia basado en los resultados del downscaling implementados previamente en escenarios de cambio climático con series de precipitación y temperatura mensuales. El proceso seleccionado permite realizar un análisis de las demás cuencas hidrográficas (Loaiza Quintero, 2016).

El presente trabajo consta de los siguientes capítulos: El capítulo I contiene el estado del arte, donde se presenta los conceptos fundamentales; el capítulo II consta de materiales y métodos, en donde se define el área de estudio, y también se detalla la metodología empleada, en el capítulo III se presenta los cálculos efectuados y sus respectivos resultados. Finalmente se exponen conclusiones y recomendaciones basadas en los aspectos más relevantes de la investigación.

## Capítulo uno

### Estado del arte

#### 1.1 Imágenes satelitales.

Las imágenes satelitales son representaciones visuales tomadas por un sensor montado en un satélite artificial. Un sensor de satélite cuenta con una cantidad enorme de detectores diminutos que miden la radiación electromagnética que refleja la superficie de la Tierra. Cada valor de reflectancia espectral se registra como un número digital. Dichos números se transmiten otra vez a la Tierra donde, por medio de un procesamiento, se transforman en colores o matices de gris para generar una imagen que se parece a una fotografía que muestra la geografía de un territorio específico (Gómez Vargas et al., 2013).

Estas imágenes brindan una representación clara de cómo se desarrollan los eventos en la atmósfera. Tienen diversas aplicaciones: dentro del campo de la meteorología su uso más común es el pronóstico climático; otra aplicación es la capacidad de monitorear el uso del suelo, entre otros.

La diferencia entre las estaciones y las imágenes satelitales radica en la localización, es decir en el punto del cual se obtiene los datos porque estas se encuentran separadas por miles de metros, ya que muestran lo que no se puede ver, ni medir con las estaciones meteorológicas tradicionales. Las imágenes satelitales más usadas para la meteorología son las visibles (requieren que la superficie este iluminada por luz solar), infrarrojas (miden la emisión de calor útiles en zonas con poca iluminación) y de vapor de agua (muestran regiones de vapor de agua en la troposfera superior) (AXXES NETWORK, 2019).

La capacidad de monitorear los cambios de uso de suelo en el tiempo es uno de los usos más importantes que proporcionan la información las imágenes satelitales, ya que brindan una base de datos digitales de cambio en donde las dimensiones espaciales y temporales de las coberturas de uso de suelo pueden ser detectadas y evaluadas (CIESIN, 1999).

### **1.1.1 Imágenes satelitales CHIRPS.**

Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) es un conjunto de datos de precipitación casi globales de más de 35 años Con una extensión de 50°S - 50°N (y todas sus longitudes), que van desde 1981 hasta el presente, CHIRPS incorpora la climatología interna, CHPclim, imágenes satelitales de resolución de 0.05°(5.5km) y datos de estaciones in situ para crear series de tiempo de lluvia en cuadrículas. para análisis de tendencias y seguimiento de sequías estacionales (UC Santa Bárbara, 2020).

### **1.1.2 Imágenes satelitales ERA5**

ERA5-Land es un conjunto de datos de reanálisis que proporciona una visión coherente del cambio de las variables de la tierra durante varias décadas con una resolución mejorada en comparación con ERA5 (Copernicus et al., 2022).

ERA5-Land se ha creado a partir de la reproducción del componente ECMWF ERA5 climate reanalysis. El reanálisis combina un modelo de datos con observaciones alrededor del mundo dentro de en un conjunto de datos coherentes y completos que utilizan las leyes de la física. El reanálisis produce datos que se remontan a varias décadas en el tiempo, proporcionando una descripción precisa del clima del pasado (Copernicus et al., 2022).

Las resoluciones temporales y espaciales de ERA5-Land hacen que este conjunto de datos sea muy útil para todo tipo de aplicaciones de superficie terrestre, como la previsión de inundaciones o sequías. La resolución de este conjunto de datos es de 0.1° x 0.1°: La resolución nativa es de 9km, el período cubierto en el tiempo, así como la cuadrícula fija utilizada para la distribución de datos en cualquier período, permite a los tomadores de decisiones, empresas e individuos acceder y utilizar información más precisa sobre los estados de la tierra (Copernicus et al., 2022).

## **1.2 Downscaling.**

Es la técnica para incrementar la resolución de variables climáticas. Ésta a través de modelos regionales de clima (RCMs) u otras técnicas de downscaling, permiten simular

procesos atmosféricos y reducir la escala de los modelos globales (GCMs) para zonas específicas de estudio. En la literatura se puede encontrar que existen dos métodos de reducción de escala estos son: el método dinámico y el estadístico (Fowler et al., 2007).

### **1.2.1 Downscaling dinámico.**

El método de reducción de escala dinámica permite a partir de los GCM (Global Circulation Model) obtener información con una resolución alta del clima. Se basa en procesos físicos, éste resuelve ecuaciones diferenciales que representan tales procesos a partir de un GCM que aporta condiciones iniciales y de contorno (Ochoa et al., 2016).

### **1.2.2 Downscaling estadístico.**

El downscaling estadístico se basa en el desarrollo de relaciones cuantitativas de variables locales de superficie (predictandos) y variables atmosféricas a gran escala (predictores) (Fiseha et al., 2012).

## **1.3 Clima y tiempo.**

Es importante diferenciar entre los términos tiempo y clima. El “Tiempo” en términos meteorológicos, es empleado para describir en ese mismo instante el estado de la atmósfera, o al estado de la atmósfera en periodos cortos que pueden ser hasta de días. En cambio, al referirnos al “Clima”, se debe considerar las condiciones de la atmósfera en periodos más largos que pueden ser meses, años, décadas, etc. lo cual permite contar con suficiente información para realizar análisis estadísticos del comportamiento del tiempo. Por lo tanto, clima y tiempo se relacionan, pues los datos climáticos tendrán implícitamente información del estado del tiempo. Por consiguiente, de darse un cambio “climático” también tendremos cambios en el “tiempo” (Esteban y Alvarado, 2015).

## **1.4 Temperatura.**

La temperatura es el nivel de calor que existe en el aire, es la variable meteorológica que tiene una relación lineal con la altitud, a mayor altura, menor temperatura. Ésta desciende  $-0,65^{\circ}$  por cada 100 m de ascenso en las zonas altas como la cordillera de los Andes, mientras

que en la zona baja se presentan gradientes de  $-0,53^{\circ}/100$  (ISA, 2005). Estos datos corresponden directamente al Mapa de Temperatura Media Anual (MDMQSA, 2009).

En las zonas urbanas, cubierta de concreto y asfalto, se genera un microclima con un aumento de temperatura de aproximadamente  $1^{\circ}\text{C}$  respecto al resto de la zona, fenómeno conocido como “isla de calor” (Pabón et al., 1998).

La temperatura se puede medir en tres categorías:

La temperatura máxima es la temperatura más alta registrada en el aire de una zona determinada, medida en el periodo de un día, mes o año. La temperatura mínima es la mas baja medida en una zona geográfica determinada en un día mes o año. La temperatura media es el promedio de temperaturas máximas y mínimas de una zona específica, de estos datos se puede obtener temperaturas medias mensuales, anuales o períodos más prolongados con lo cual se puede tener registros climáticos amplios (Pabón et al., 1998).

### **1.5 Precipitación.**

La precipitación es la caída de agua desde la atmósfera a la superficie terrestre. La precipitación forma parte del ciclo del agua; se genera por la condensación de agua, es decir, la acumulación de agua en la atmósfera creando nubes. El agua que se acumula en la atmósfera generalmente se encuentra en estado gaseoso (vapor de agua). Cuando existe una cantidad considerable de vapor de agua dentro de las nubes el agua se enfría y se condensa pasando del estado gaseoso al líquido o al sólido.

## **Capítulo dos**

### **Materiales y métodos**

#### **2.1 Área de estudio**

En el presente TFT se ha seleccionado como área de estudio a la provincia de Loja, que se encuentra ubicada en la región sierra al sur del Ecuador, en las coordenadas 4°03'S 79°39'O, siendo su capital la ciudad de Loja (Instituto Geografico Militar, 2012).

La superficie aproximada de la provincia de Loja es 11671km<sup>2</sup>, donde habitan 448966 personas (Prefectura de Loja, 2010). La altura máxima es de 3789 m.s.n.m y la altura mínima es de 106 m.s.n.m (Instituto Geografico Militar, 2012). Sus límites provinciales son: al noroeste con la provincia de El Oro, al este con la provincia de Zamora Chinchipe, al norte con la provincia del Azuay, al sur con las provincias peruanas de Sullana y Ayabaca, al oeste con las provincias (peruanas) de Zarumilla y Tumbes (Prefectura de Loja, 2010). El clima característico de la provincia de Loja varía entre tropical sabana y mesotérmico húmedo y semi – húmedo, existen sitios con clima de páramo, localizados en las zonas de mayor altitud. Al Sur de la provincia, se encuentran sectores áridos y secos en las proximidades con el Perú, la temperatura promedio es de 16º centígrados (Prefectura de Loja, 2010).

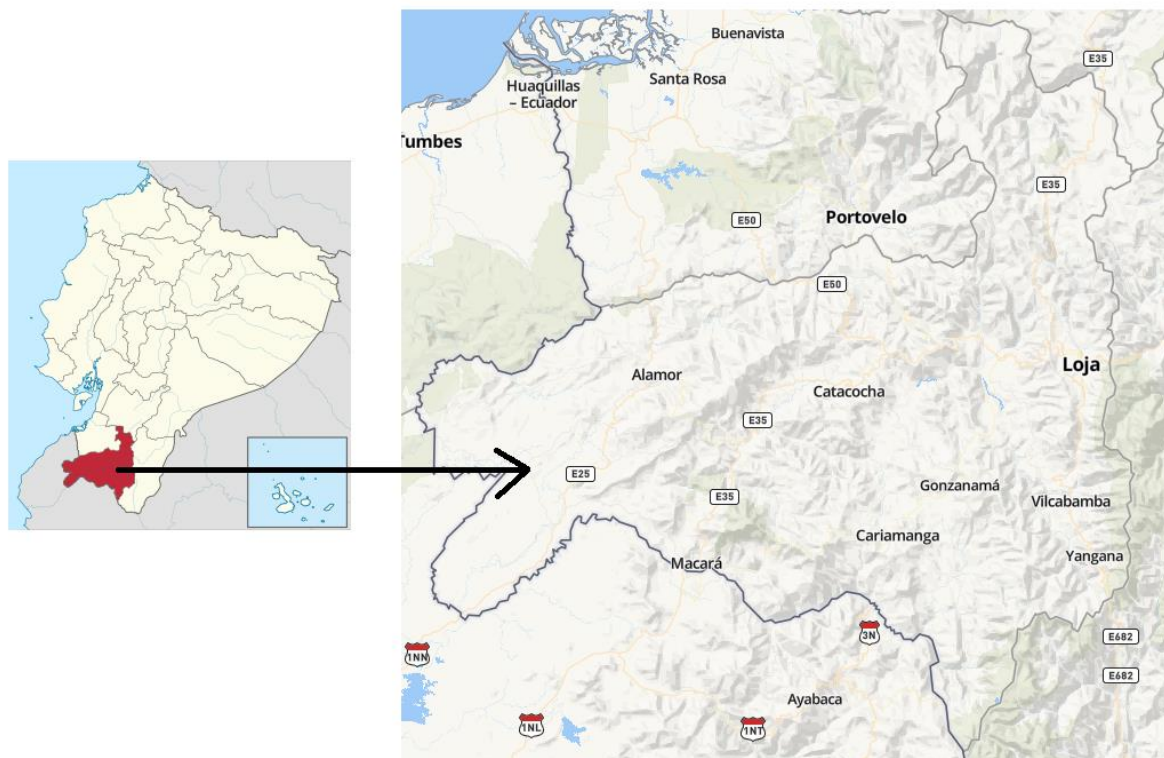
La temporada templada dura 5,3 meses, de noviembre al mes de mayo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 20 °C. Los días más caluroso del año se pueden dar en el mes de enero, con una temperatura máxima promedio de 21 °C y una temperatura mínima promedio de 11 °C. La temporada fresca dura 2,1 meses, del mes de junio a agosto, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 18 °C. En el mes de julio se registran las temperaturas más bajas, con una temperatura mínima promedio de 9 °C y máxima promedio de 17 °C (Weather Spark, 2016).

Un día lluvioso es un día con por lo menos 1 milímetro de precipitación. La probabilidad de días lluviosos en Loja varía considerablemente durante el año. La temporada con más precipitaciones dura 4,6 meses, que va desde el mes de diciembre a mayo, con una

probabilidad de más del 30 % de que ocurra un día lluvioso. La probabilidad máxima de un día mojado es del 52 % en el mes marzo. La temporada más seca dura 7,4 meses, del mes de mayo al diciembre. La probabilidad mínima de un día lluvioso es del 7 % en el mes de agosto. Entre los días lluviosos, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 52% el mes de marzo (Weather Spark, 2021).

### Figura 1

Área de estudio



Nota. Adaptado de *The Weather Channel*

## 2.2 Datos y Materiales.

### 2.2.1 Datos meteorológicos.

Para la validación de los resultados obtenidos, es necesario contar con los datos de precipitación y temperatura proporcionados por estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.

Las estaciones que miden los datos son propiedad del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); el mismo que les asigna una codificación según su tipo, cuya simbología se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Estaciones meteorológicas*

<b>Código del tipo de estación</b>	<b>Equivalencia</b>
AP	Agrometeorológica
CP	Climatológica Principal
CO	Climatológica Ordinaria
CE	Climatológica Especial
AR	Aeronáutica
RS	Radio Sonda
PV	Pluviométrica
PG	Pluviográfica
PC	Plataforma Colectora de Datos
AN	Anemográfica

*Nota.* Esta tabla se observa los códigos dependiendo el tipo de estación por (INAMHI, 2021).

Se utilizan las estaciones metereologicas que se detallan en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Estaciones metereologicas seleccionadas*

Ubicacion	Código	Nombre	Tipo	Coordenadas		
				Latitud	Longitud	Elevación (m)
Loja	M0150	Amaluza	CO	4°35'5'	79°25'50"	1672
	M0146	Cariamanga	CO	4°20'0"	79°33'16"	1950
	M0033	La Argelia	AP	4°02'15"	79°12'12"	2160
	M0147	Yangana	CO	4°22'5"	79°10'30"	1835
	M0241	Quilanga	CO	4°17'41'	79°24'6"	1956
	M1259	Macara	CO	4°22'11"	79°56'42"	544

*Nota.* Esta tabla se observa los códigos, tipos y coordenadas dependiendo el tipo de estación, por (INAMHI, 2021)

### **2.2.2 Imágenes satelitales**

Se utilizan imágenes satelitales dentro de un periodo de 10 años, en fechas específicas seleccionadas de los días que reflejan el cambio de clima en las temporadas de la zona de estudio.

### **2.2.3 Herramienta Geographically Weighted Regression (GWR) for Grid**

#### ***Downscaling.***

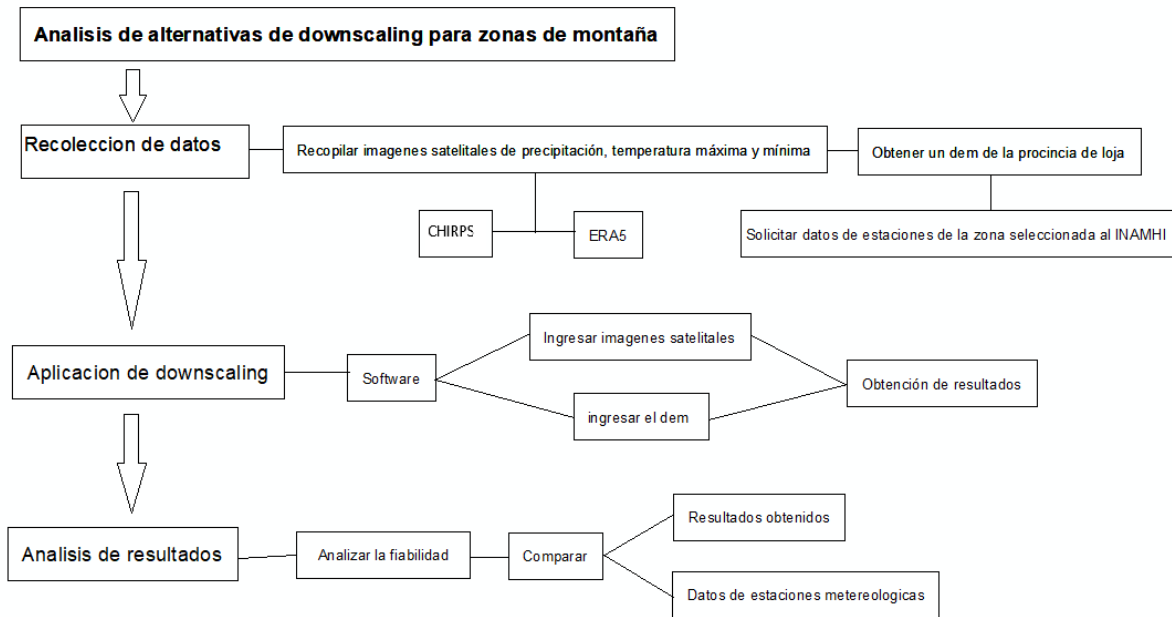
El GWR es un método interesante, diferente de otras técnicas porque permite que las relaciones entre las covariables varíen espacialmente. Tiene muchas aplicaciones como en el campo de la investigación en el cual se utiliza el GWR para determinar la importancia de ciertas variables que influyen al predecir un resultado. La GWR es lo suficientemente flexible como para poder analizar los datos a muchas escalas y ver las estimaciones de error también a muchas escalas (Franzpc, 2021).

### **2.3 Metodología.**

La metodología se dividió en: Recolección de datos, aplicación de downscaling y análisis de resultados, que contienen sus propios pasos interrelacionados que se muestran en la figura 2.

Figura 2

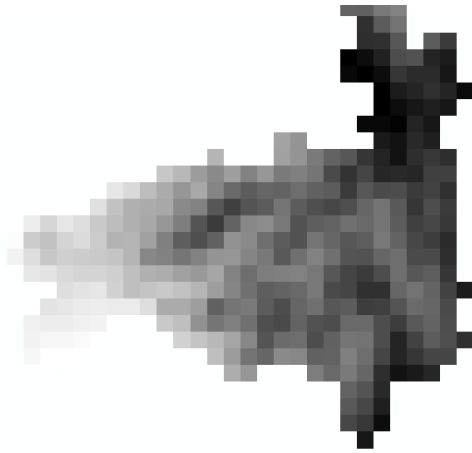
Imagen de diseño metodológico



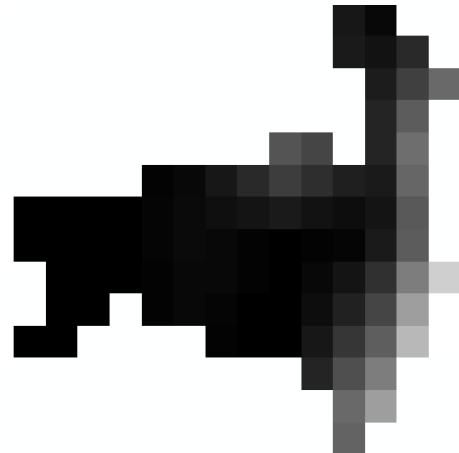
Nota. Estructura de la metodología.

### 2.3.1 Recolección de datos.

Para la recolección de datos se procedió a buscar imágenes satelitales del área de estudio, que se seleccionó en base a la topografía del terreno ya que presenta varias zonas montañosas. Se realizó la investigación de las imágenes satelitales y para su selección se tomó en cuenta la característica de resolución espacial siendo estas (ERA5 y CHIRPS) las más adecuadas para poder aplicar el downscaling. A continuación, se en la figura 3 y 4 se observa un ejemplo de las imágenes satelitales con las cuales se va a trabajar:

**Figura 3***Imagen de temperatura máxima CHIRPS*

*Nota.* Adaptado de Chirps daily (*Index of /Products/CHIRTSdaily/v1.0/Global\_tifs\_p05/T max, n.d.*)

**Figura 4***Imagen de precipitación ERA5*

*Nota.* Adaptado de ERA5-LAND (Gis&Beers/ <http://www.gisandbeers.com/era5-land-datos-climaticos-hora-desde-1981/#more-8755>, n.d.)

Para la obtención de datos se solicitó al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de diferentes estaciones de la provincia de Loja. Los datos solicitados se utilizarán para comprobar los resultados obtenidos del downscaling.

### **2.3.2 Aplicación de downscaling.**

Para la reducción de escala se ingresan las imágenes satelitales y un DEM (con una resolución de 40 metros) del área de estudio seleccionada, de esta manera el software realiza una correlación, esta utilizara una covariable como es la altitud ya que a una mayor altura existe una menor temperatura. Y de esta manera procederá a reducir la escala a la misma resolución del DEM obteniendo una imagen con mayor definición.

Para este downscaling utilizamos una herramienta que permite establecer una regresión automática

### **2.3.3 Análisis de resultados.**

Una vez obtenidos los resultados se procede a validar los mismos haciendo una comparación entre los datos obtenidos por el INAMHI y los arrojados por el software,

tomando en cuenta que los datos más se aproximen a los valores medidos de datos de las estaciones meteorológicas.

Para medir su grado de aceptabilidad se lo realizará mediante la eficiencia de Nash-Sutcliffe, el cual es utilizado con gran frecuencia en hidrología. Este criterio analiza los resultados a partir de visualizaciones, mediciones que para el caso de estudio son los datos obtenidos por el INAMHI y las simulaciones que serán los resultados obtenidos por parte del software de ERA5 y CHIRPS; para ello se utiliza la ecuación 1.

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_{Obs} - V_i)^2}{\sum_{i=1}^n (V_{Obs} - \bar{V})^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

E: eficiencia del modelo,

$V_{Obs}$ : Valor observado,

$V_i$ : Valor simulado,

$\bar{V}$ : Valor promedio.

Se debe considerar que la variable cambiará de acuerdo al tema de estudio, en este caso; temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación.

El método de Nash-Sutcliffe tiene un rango de aceptabilidad o ajuste del modelo el cual se presenta en la tabla 5, de acuerdo a este criterio se evalúa si los resultados arrojados por los softwares son válidos o están alejados de las mediciones realizadas por el INAHMI.

Mide cuánto de la variabilidad de las observaciones es explicado por el método de downscaling. Si este fuese perfecto,  $E=1$ ; si se intentase ajustar las observaciones con el valor promedio, entonces  $E=0$ . Algunos valores sugeridos para la toma de decisiones son resumidos en la tabla 3.

**Tabla 3***Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe*

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

*Nota.* Valores de aceptabilidad.

Este indicador puede ser utilizado para cualquier escala de tiempo.

## Capítulo tres

### Resultados

#### 3.1 Recolección de datos

En la recolección de datos descargamos imágenes satelitales ERA5 que cuentan con una resolución de 9km y CHIRPS que cuentan con una resolución de 5km: de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, ya que cuentan con una resolución para el propósito del presente TFT. Se descargó estas imágenes para cuatro diferentes fechas de los periodos representativos del año que se observan en la tabla 4, también se procedió a descargar un DEM de 40m de resolución, de la provincia de Loja en la página del Instituto Geográfico Militar (IGM).

**Tabla 4**

*Fecha de toma de muestras*

<b>Muestra</b>	<b>Fecha de obtención</b>
Primera	15 de abril de 2012
Segunda	25 de agosto de 2012
Tercera	03 de febrero de 2014
Cuarta	14 de junio de 2014

*Nota. Fechas utilizadas de imágenes satelitales*

#### 3.2 Aplicación de downscaling

El capítulo recopila los resultados obtenidos a través de la herramienta GRW for Grid Downscaling del software SAGA con las diferentes imágenes satelitales seleccionadas para este trabajo. En las siguientes figuras se muestran los resultados de aplicar downscaling a las imágenes satelitales tanto de temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones.

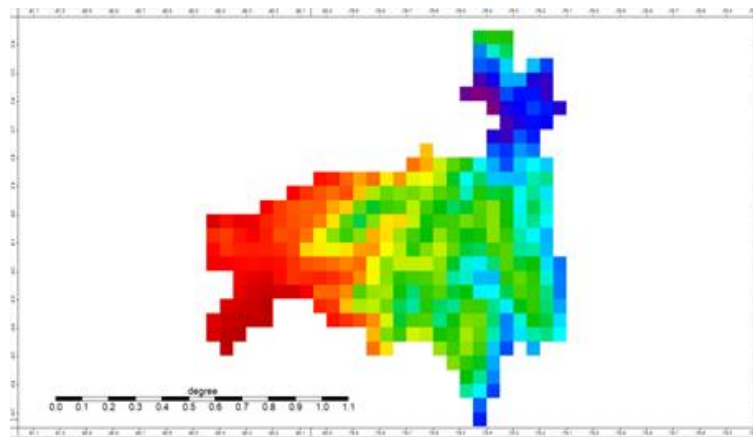
Para la validación de resultados se ubica las estaciones metereológicas en los puntos geográficos en las imágenes satelitales para comprobar el valor medido por la estación y el valor del pixel generado en la imagen satelital en el mismo punto que el de la estación meteorológica.

### 3.2.1 Temperaturas máximas

Aplicando el downscaling a las imágenes satelitales alcanzadas para la obtención de información de temperaturas máximas de las estaciones meteorológica del área de estudio y poder emplearlos para una comparación con los datos proporcionados del INAMHI, con ello determinar su grado de aceptabilidad. De esta forma en la figura 5 y 6 se muestra la imagen antes de después de aplicar el downscaling para el 14 de junio de 2014, para el resto de muestras se los puede observar en el apéndice 1. Los resultados de temperaturas máximas tanto medidos como calculados a través de downscaling se muestran en la tabla 5.

**Figura 5**

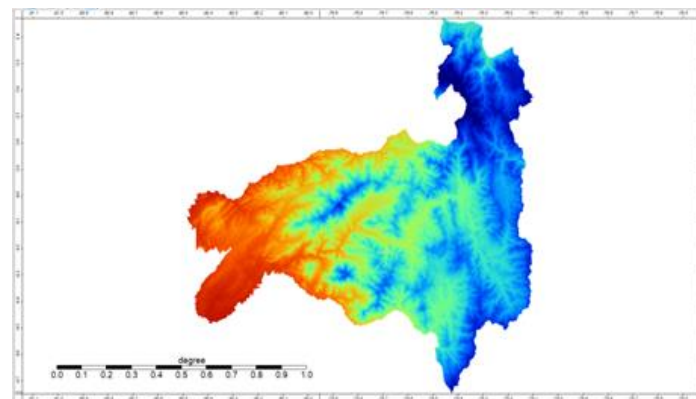
*Antes de aplicar downscaling para 14/06/2014.*



*Nota.* Imagen CHIRPS de temperatura máxima

**Figura 6**

*Después de aplicar downscaling para 14/06/2014.*



*Nota.* Imagen de temperatura máxima con downscaling.

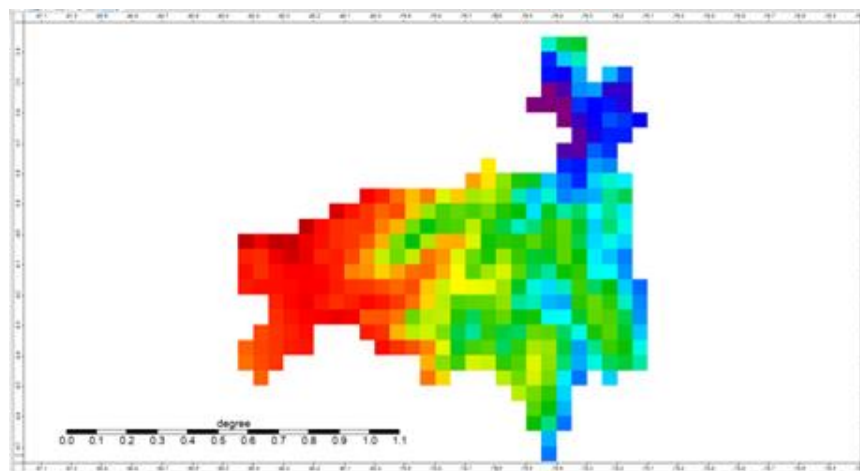
**Tabla 5***Temperatura máxima para 14/06/2014.*

Estaciones	Datos con downscaling	Datos con INAMHI
	Tmáx 14/06/2014	Tmáx 14/06/2014
Amaluza	24,2466	25,6
Cariamanga	23,6832	24,5
La Argelia	22,7182	19,8
Yangana	23,4705	23,8
Quilanga	23,6277	24
Macará	28,2714	29

*Nota.* Datos de estaciones y datos con downscaling.

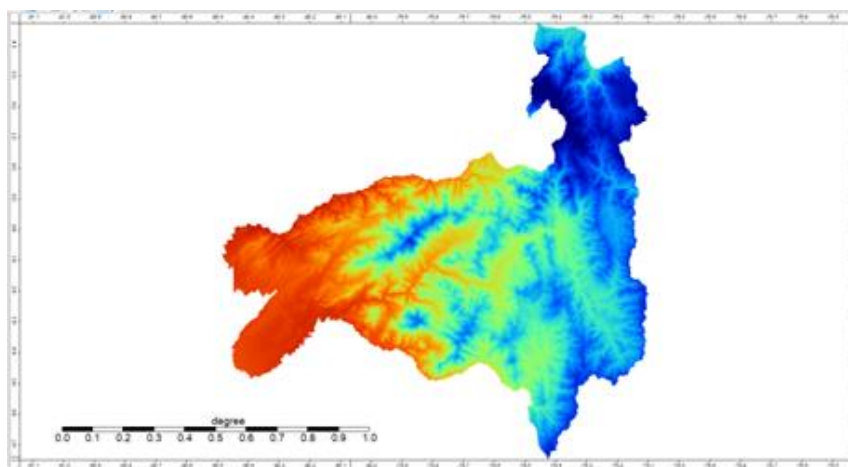
### 3.2.2 Temperaturas mínimas

Se obtienen las imágenes satelitales para una posterior aplicación de downscaling, En este caso se indicará los datos obtenidos para el 14 de junio de 2014, el cual se muestra en la figura 7 y 8. Los datos se muestran en la tabla 6 para su posterior análisis.

**Figura 7***Antes de aplicar downscaling para 14/06/2014.**Nota.* Imagen CHIRPS de temperatura mínima.

**Figura 8**

*Después de aplicar downscaling para 14/06/2014.*



*Nota.* Imagen de temperatura mínima con downscaling.

**Tabla 6**

*Temperatura mínima para 14/06/2014.*

Estaciones	Datos con downscaling	Datos con INAMHI
	Tmin 14/06/2014	Tmin 14/06/2014
Amaluza	17,0455	-
Cariamanga	16,5994	13,8
La Argelia	15,7886	12,8
Yangana	16,5364	16
Quilanga	16,5723	14,4
Macará	20,9444	13

*Nota.* Datos de estaciones y datos con downscaling.

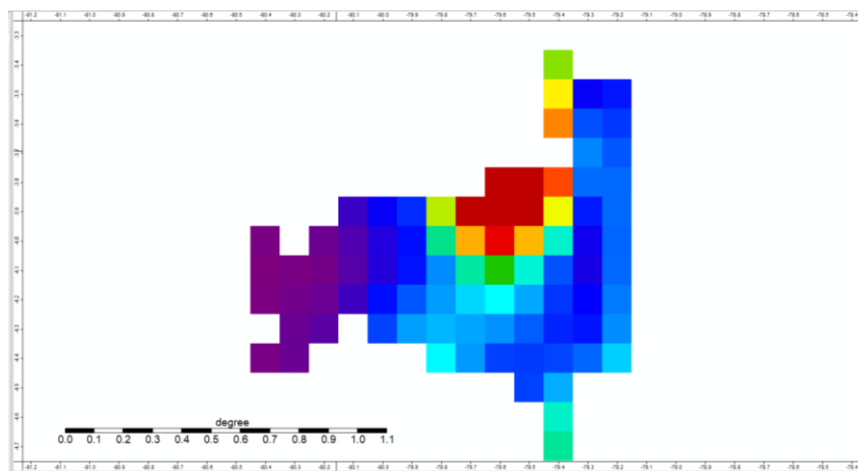
En este caso se observa que no se ha medido un dato en la estación de Amaluza en la fecha del 14/06/2014, por lo cual para su correlación no se toma en cuenta esta estación, permitiendo de esta forma conocer el grado de aceptabilidad sabiendo que el número de datos de estudio es directamente proporcional a la confiabilidad respecto al grado de aceptabilidad.

### 3.2.3 Precipitación

De manera homologa a las imágenes anteriores se aplica downscaling a las imágenes satelitales obtenidas que se muestran en las figuras 9 y 10, con ello se obtienen datos de precipitación para poder contrastarlos con las medidas por el INAMHI que se observan en la tabla 7.

**Figura 9**

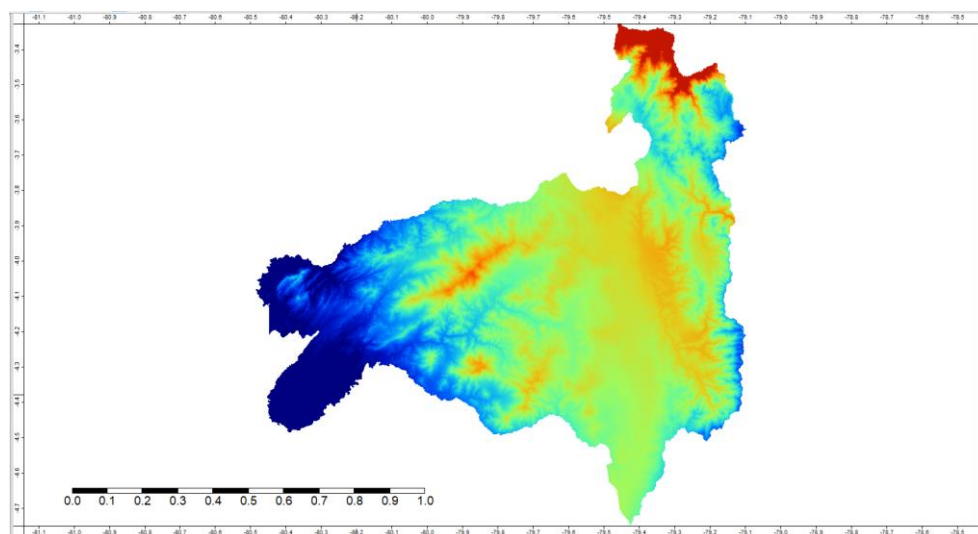
*Antes de aplicar downscaling para 03/02/2014.*



*Nota.* Imagen ERAS5 de precipitación.

**Figura 10**

*Después de aplicar downscaling para 03/02/2014.*



*Nota.* Imagen de precipitación con downscaling.

**Tabla 7***Precipitación para 03/02/2014*

Estaciones	Datos con downscaling	Datos con INAMHI
	P 03/02/2014	P 03/02/2014
Amaluza	4,743	17,4
Cariamanga	4,954	6,3
La Argelia	5,074	16,2
Yangana	5,186	0
Quilanga	4,992	0
Macará	3,069	1,9

*Nota.* Datos de estaciones y datos con downscaling.

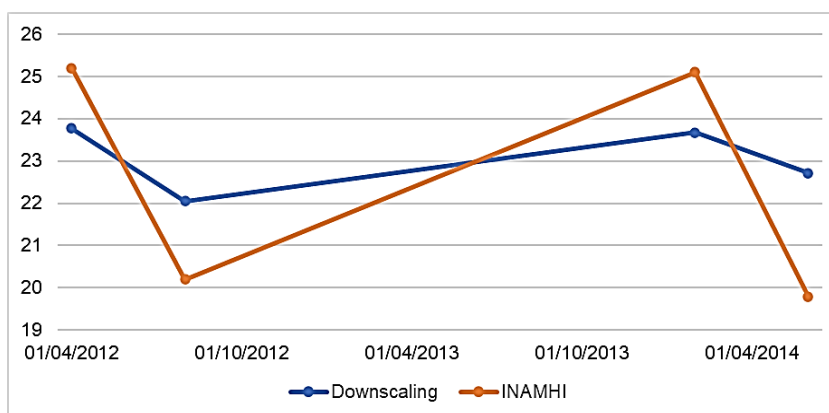
### 3.3 Análisis de resultados

Los resultados de la eficiencia de Nash-Sutcliffe se muestra en la tabla 8 para las distintas estaciones meteorológicas del área de estudio, de igual forma los cálculos para el análisis se muestran en el apéndice 2.

Para las temperaturas máximas, se observa que los valores obtenidos mediante downscaling fluctúan comparados con los del INAMHI en la estación La Argelia lo cual se puede evidenciar en la figura 11, es por ello que su grado de aceptabilidad de la temperatura máxima para el 14/06/2014 tiene un valor de 0.73, siendo muy bueno seguido de dos satisfactorias y la restante tienen un valor inferior al 0.2, para las fechas de análisis.

**Figura 11**

*Curvas para temperatura máxima estación La Argelía*



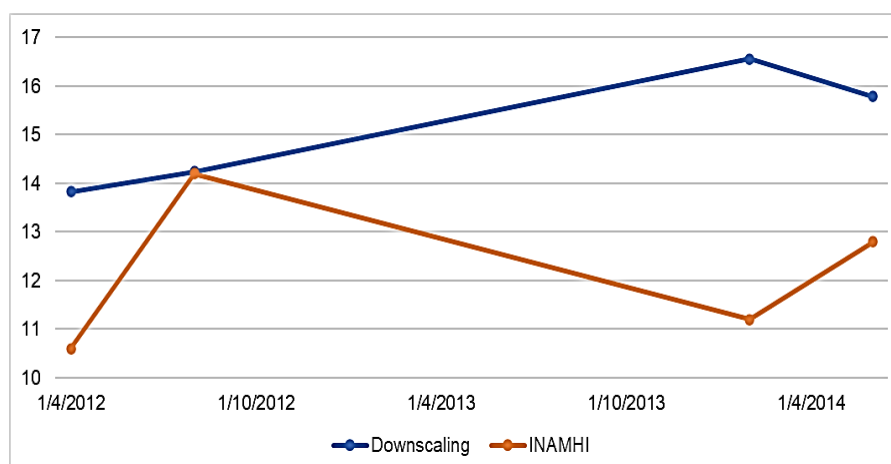
*Nota.* Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

Los resultados de la eficiencia de Nash-Sutcliffe en la temperatura mínima se muestran en la tabla 8, los mismos que son insuficientes en todas las estaciones de análisis.

En el caso de temperatura mínima los valores expuestos por el INAMHI son muy distintos a los obtenidos por el downscaling, aunque para ciertas estaciones las curvas se asemejan, estas se encuentran muy desfasadas o alejadas una de la otra como se observa en la figura 12, lo cual se ve reflejado en sus valores de validación, dando para todos los casos insuficientes, siendo inferiores a 0.2.

**Figura 12**

*Curvas para temperatura mínima estación La Argelía*

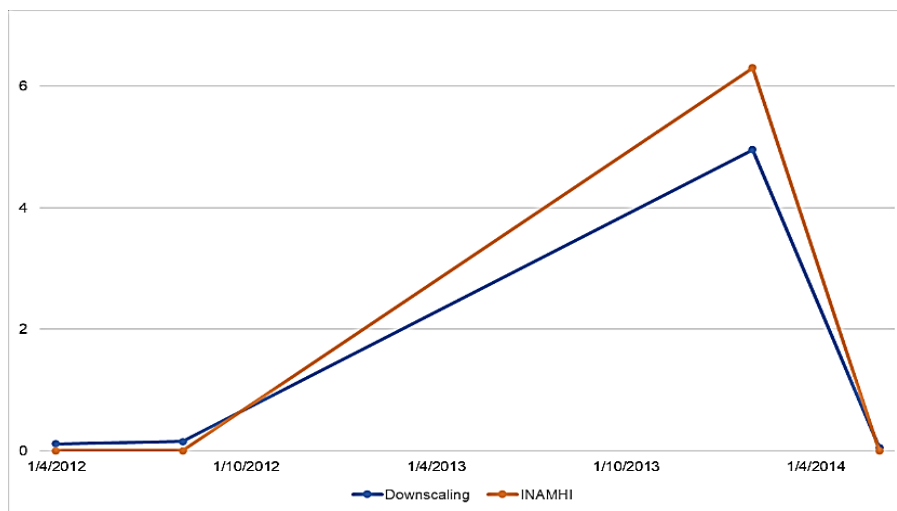


*Nota.* Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

Los resultados de la eficiencia de Nash-Sutcliffe de precipitación se muestran en la tabla 8, igualmente como se puede observar en sus graficas son distantes entre ellos lo que no representa una relación entre las mismas, tanto así que se observa en todas las estaciones y para las fechas de análisis una aceptación insuficiente como se muestra en la tabla 8.

**Figura 13**

*Curvas para precipitaciones estación Cariamanga*



*Nota.* Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

Las curvas formadas por los datos obtenidos a partir de downscaling tienen una uniformidad de crecimientos o decrecimientos progresivos los cuales no presentan mayores anomalías mientras que los valores expuestos por el INAMHI, presentan cambios bruscos en sus magnitudes para temperaturas y precipitaciones respectivamente. Como se observa en el apéndice 3, dichos resultados son consistentes ya que nuestra zona al ser montañosa puede pasar de tiempos lluviosos a secos de manera precipitada.

**Tabla 8***Resultados para aceptabilidad de Nash-Sutcliffe.*

<b>Fecha</b>	<b>3/2/2014</b>	<b>14/6/2014</b>	<b>15/4/2012</b>	<b>25/8/2012</b>
<b>Dato</b>				
<b>Tmáx</b>	0.38	0.73	0.00	0.28
<b>Tmin</b>	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>P</b>	0.00	0.00	0.00	0.00

*Nota.* Validacion de resultados con valores de downscaling y estaciones metereológicas.

## Conclusiones

Se recopiló información climática mediante la aplicación de metodologías downscaling, la cual puede ser local y global, ya que nos permite conocer las temperaturas mínimas y máximas al igual que precipitaciones de las zonas de estudio.

Los datos recopilados de acuerdo a estaciones meteorológicas donde se registra la información en el transcurso del tiempo se ve dificultada por la carencia de estaciones ya sea en la actualidad o en el pasado, ya que, para estudios meteorológicos se necesita cierto tiempo de registro para predecir con mayor precisión acontecimientos futuros, por ello no existe información en ciertos periodos o con muchos años de anterioridad para ciertas zonas por la carencia física de las estaciones meteorológicas, el utilizar imágenes satelitales y un software de reducción de escala brinda una opción para poder aumentar la similitud de estos datos con los medidos.

Al comparar los datos obtenidos de temperatura y precipitación del downscaling con los medidos en las estaciones climáticas del INAMHI se puede observar una diferencia, ya que el downscaling se basa en un proceso de correlación entre variables.

Los resultados mediante la comparación de los datos obtenidos por ambas metodologías, se puede observar que en el mejor de los casos se obtiene una aceptación del 0.78 para las temperaturas, mientras que para el resto no se observa una aceptación razonable, mientras que los datos obtenidos del INAMHI resultan de una medición directa, el downscaling busca una obtención a partir de imágenes satelitales.

A diferencia de la temperatura que se correlaciona con la altitud del terreno la precipitación no es una variable dependiente de la altura, lo que podemos evidenciar en los resultados obtenidos por la eficiencia de Nash-Sutcliffe.

### **Recomendaciones**

Extender el área de estudio para una obtención más amplia de datos climáticos de una fecha para tener una base de datos más extensa permitiendo un mejor contraste, ya que la fiabilidad de la metodología de aceptabilidad es directamente proporcional a la cantidad de datos expuestos.

Realizar un análisis similar en zonas geográficas donde las temperaturas y precipitaciones no varían considerablemente en periodos cortos del año como por ejemplo en la región Costa, ya que, en el área de estudio por la presencia de montañas, se observa una variabilidad continua del tiempo, con ello afecta a la climatología de la zona.

En la actualidad se cuenta con nuevas tecnologías para recolección de datos medidos, como el caso de los radares que nos darían la posibilidad de implementar un factor de corrección para aumentar la precisión del downscaling en zonas montañosas.

## Bibliografía

- Armenta, G., Villa, J., & Jácome, P. (2016). *Para Ecuador , Bajo Distintos Escenarios De Cambio Climático*.
- AXXES NETWORK. (2019). *Las imágenes satelitales y sus aplicaciones en la vida cotidiana*.  
AXXES NETWORK. <https://axessnet.com/las-imagenes-satelitales-y-sus-aplicaciones-en-la-vida-cotidiana/>
- Benestad, R. E., Hanssen-Bauer, I., & Chen, D. (2008). Empirical-statistical downscaling. In *Empirical-Statistical Downscaling*. World Scientific Publishing Co.  
<https://doi.org/10.1142/6908>
- Boé, J., Terray, L., Habets, F., & Martin, E. (2007). Statistical and dynamical downscaling of the Seine basin climate for hydro-meteorological studies. *International Journal of Climatology*, 27(12), 1643–1655. <https://doi.org/10.1002/joc.1602>
- Cano, R., López, F. J., Cofiño, A. S., José Manuel Gutiérrez, & Rodríguez, M. A. (1993). Aplicación de métodos de clasificación al downscaling estadístico. *Nwmstest.Ecmwf.Int*.  
<http://www.ecmwf.int/research/era/index.html>
- CIESIN Center for International Earth Science Information Network Columbia University. (1999). *Thematic Guides*. <http://infoserver.ciesin.org/TG/RS/HTML/chngdet.html>
- Copernicus, Climate Change Service, & European Comission. (2022). *ERA5-Land hourly data from 1950 to present*.  
<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>
- Esteban, I., & Alvarado, S. (2015). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOWNSCALING ESTADÍSTICO Y DINÁMICO EN LAS CUENCAS DE LOS* Autor : Juan Carlos Guanuchi  
*Quito*.
- Fang, J., Du, J., Xu, W., Shi, P., Li, M., & Ming, X. (2013). Spatial downscaling of TRMM precipitation data based on the orographical effect and meteorological conditions in a mountainous area. *Advances in Water Resources*, 61, 42–50.

<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2013.08.011>

- Fiseha, A.M., M., E., R., E., V., & A., F. (2012). Statistical Downscaling of Precipitation and Temperature for the Upper Tiber Basin in Central Italy. *International Journal of Water Sciences*, 1. <https://doi.org/10.5772/52890>
- Fowler, H. J., Blenkinsop, S., & Tebaldi, C. (2007). Linking climate change modelling to impacts studies: Recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. In *International Journal of Climatology* (Vol. 27, Issue 12, pp. 1547–1578). <https://doi.org/10.1002/joc.1556>
- Franzpc. (2021, October 24). “Aumentar” la resolución de un ráster usando la técnica Downscaling en QGIS | El blog de franz. <https://acolita.com/aumentar-la-resolucion-de-un-raster-usando-la-tecnica-downscaling-en-qgis/>
- Garcia, J. (2012). Calibración Local de Predicciones Numéricas de Viento con Técnicas Estadísticas no Lineales. *Universidad de Cantabria*. <http://www.meteo.unican.es>.
- Gis&Beers. (n.d.). ERA5-Land, datos climáticos por hora desde 1981 -. Retrieved July 2, 2021, from <http://www.gisandbeers.com/era5-land-datos-climaticos-hora-desde-1981/#more-8755>
- Gómez Vargas, E., Obregón Neira, N., & Rocha Arango, D. F. (2013). Métodos de segmentación de nubes en imágenes satelitales. *Revista Tecnura*, 17(36), 96. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.2.a08>
- Gutmann, E. D., Rasmussen, R. M., Liu, C., Ikeda, K., Gochis, D. J., Clark, M. P., Dudhia, J., & Thompson, G. (2012). A comparison of statistical and dynamical downscaling of winter precipitation over complex terrain. *Journal of Climate*, 25(1), 262–281. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4109.1>
- IDDH. (2017). *Objetivos, metas e indicadores. Tabla resumen ODS de la ONU. La Guía de los Derechos Humanos a los ODS. Instituto Danés de Derechos Humanos (IDDH)*. <https://sdg.humanrights.dk/es>

- INAMHI. (2021). *Biblioteca – Institutos*. [https://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/Index\\_of\\_products/CHIRTSdaily/v1.0/global\\_tifs\\_p05/Tmax](https://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/Index_of_products/CHIRTSdaily/v1.0/global_tifs_p05/Tmax). (n.d.). Retrieved July 2, 2021, from [http://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRTSdaily/v1.0/global\\_tifs\\_p05/Tmax/](http://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRTSdaily/v1.0/global_tifs_p05/Tmax/)
- Instituto Geografico Militar. (2012). *Mapas Temáticos Provinciales – Geoportal Ecuador*. <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/geoinformacion/mapas-tematicos-provinciales/>
- Lo, J. C.-F., Yang, Z.-L., & Pielke, R. A. (2008). Assessment of three dynamical climate downscaling methods using the Weather Research and Forecasting (WRF) model. *Journal of Geophysical Research*, 113(D9). <https://doi.org/10.1029/2007jd009216>
- Loaiza Quintero, J. C. (2016). *Implementación del modelo hidrológico “abcd” realizando una calibración regional para la evaluación del impacto del caudal en la cuenca alta del río Bogotá basado en los resultados del downscaling previamente implementados en los modelos de escenarios de*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57602>
- Ochoa, A., Campozano, L., Sánchez, E., Gualán, R., & Samaniego, E. (2016). Evaluation of downscaled estimates of monthly temperature and precipitation for a Southern Ecuador case study. *International Journal of Climatology*, 36(3), 1244–1255. <https://doi.org/10.1002/joc.4418>
- Pabón, J. D., Zea, J., León, G., Hurtado, G., & Montealegre, J. É. (1998). 3. La atmósfera, el tiempo y el clima. *El Medio Ambiente En Colombia*, 35–91. <https://doi.org/10.3/JQUERY-UI.JS>
- Prefectura de Loja. (2010). *Nuestra Provincia. 2012*. <https://prefectura Loja.gob.ec/nuestra-provincia/>
- Pryor, S. C., Schoof, J. T., & Barthelmie, R. J. (2005). Climate change impacts on wind speeds and wind energy density in Northern Europe: Empirical downscaling of multiple AOGCMs. *Climate Research*, 29(3), 183–198. <https://doi.org/10.3354/cr029183>
- UC Santa Bárbara. (2020). *CHIRPS: Estimaciones de lluvia a partir de observaciones de*

*pluviómetros y satélites | Centro de Riesgos Climáticos - UC Santa Barbara.*

<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>

Weather Spark. (2016). Clima promedio en Loja, Ecuador, durante todo el año - Weather Spark. In *El Clima Promedio En Loja*. <https://es.weatherspark.com/y/19339/Clima-promedio-en-Loja-Ecuador-durante-todo-el-año>

Weather Spark. (2021). *El clima en vergel, el tiempo por mes, temperatura promedio - Weather Spark*. Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/y/19339/Clima-promedio-en-Loja-Ecuador-durante-todo-el-año>

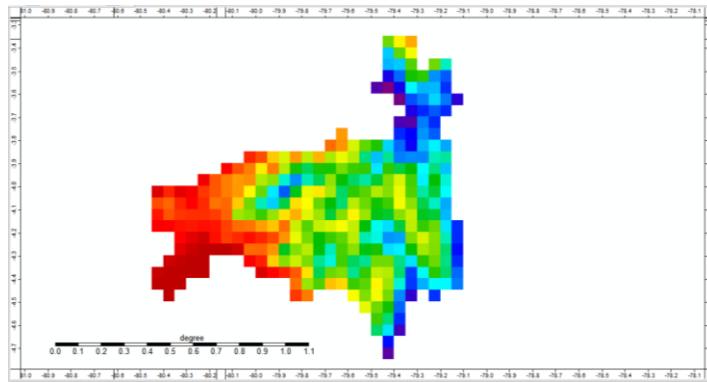
## Apéndice

### Apéndice A: Aplicación de downscaling.

Aplicación de downscaling.

**Figura 14**

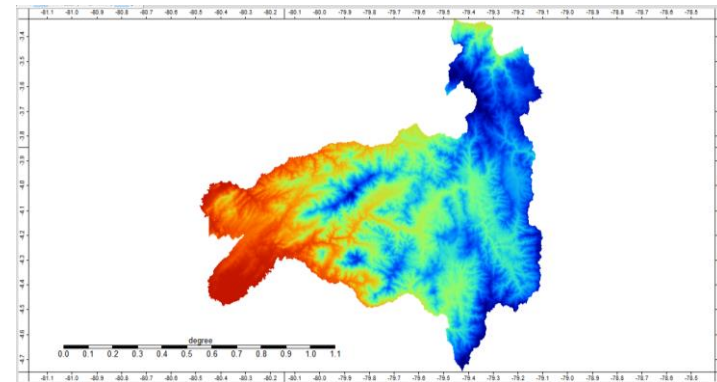
*Antes de aplicar downscaling para 03/02/2014.*



*Nota.* Imagen CHIRPS de temperatura máxima

**Figura 15**

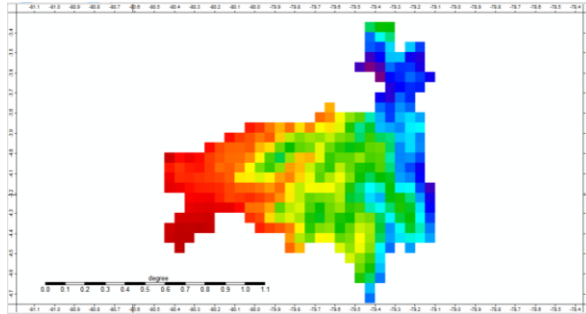
*Después de aplicar downscaling para 03/02/2014.*



*Nota.* Imagen de temperatura máxima con downscaling.

**Figura 16**

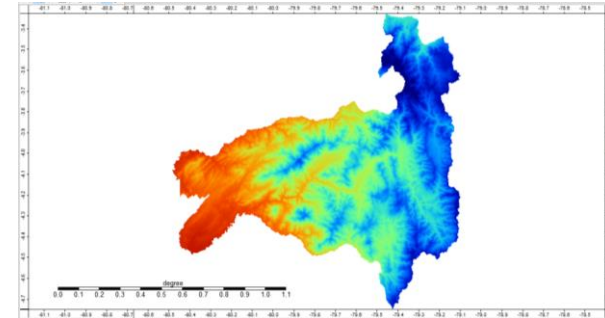
*Antes de aplicar downscaling para 14/06/2014.*



*Nota. Imagen CHIRPS de temperatura máxima*

**Figura 17**

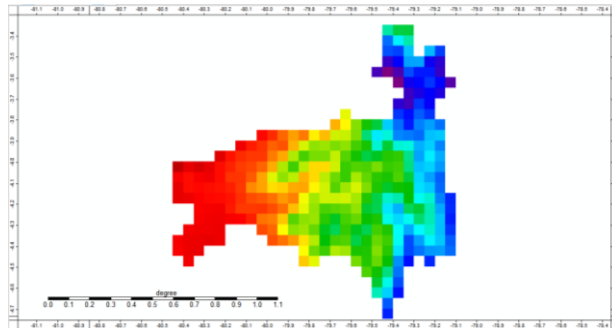
*Después de aplicar downscaling para 14/06/2014.*



*Nota. Imagen de temperatura máxima con downscaling.*

**Figura 18**

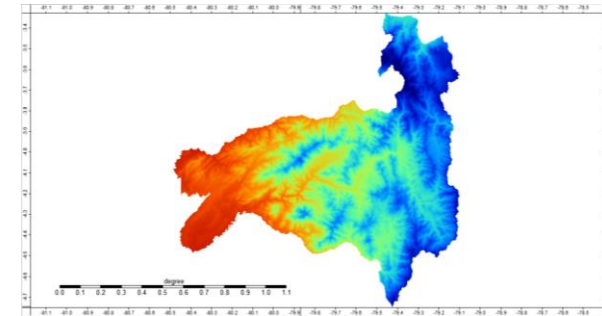
*Antes de aplicar downscaling para 25/08/2012.*



*Nota. Imagen CHIRPS de temperatura máxima*

**Figura 19**

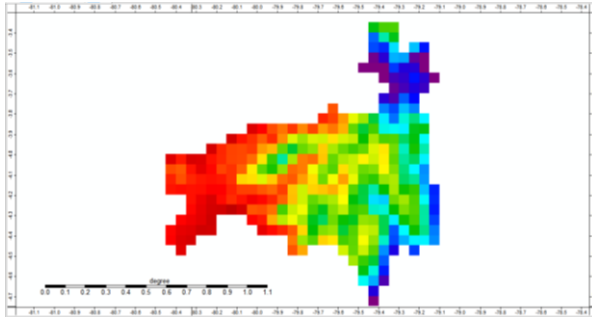
*Después de aplicar downscaling para 25/08/2012.*



*Nota. Imagen de temperatura máxima con downscaling.*

**Figura 20**

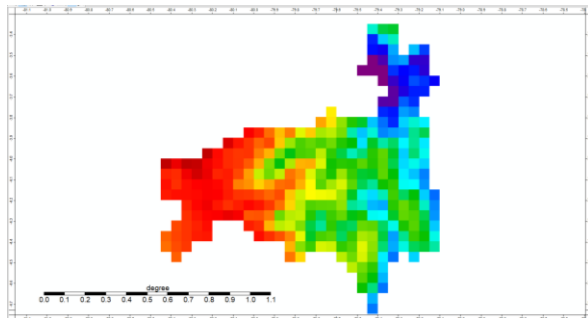
*Antes de aplicar downscaling para 03/02/2014.*



*Nota.* Imagen CHIRPS de temperatura mínima.

**Figura 22**

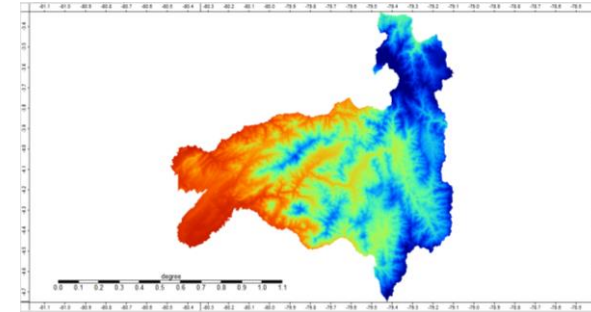
*Antes de aplicar downscaling para 14/06/2014.*



*Nota.* Imagen CHIRPS de temperatura mínima.

**Figura 21**

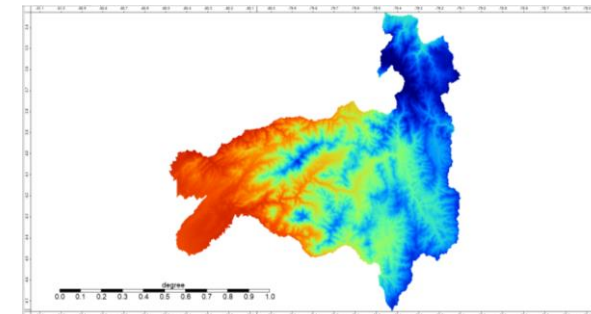
*Después de aplicar downscaling para 03/02/2014.*



*Nota.* Imagen de temperatura mínima con downscaling.

**Figura 23**

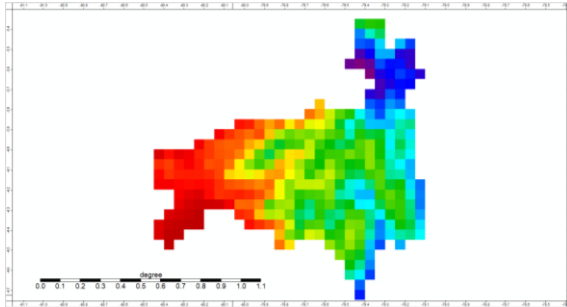
*Después de aplicar downscaling para 14/06/2014.*



*Nota.* Imagen de temperatura mínima con downscaling.

**Figura 24**

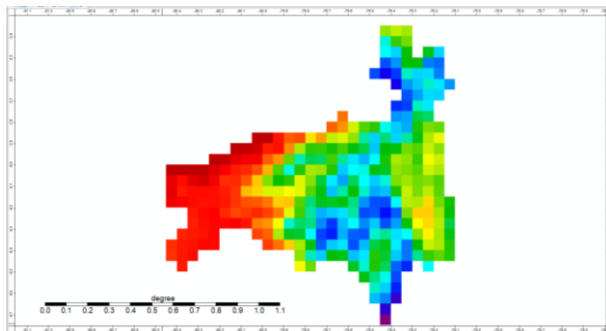
*Antes de aplicar downscaling para 15/04/2012.*



*Nota.* Imagen CHIRPS de temperatura mínima.

**Figura 26**

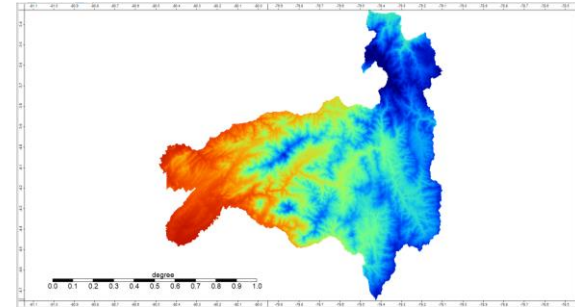
*Antes de aplicar downscaling para 25/08/2012.*



*Nota.* Imagen CHIRPS de temperatura mínima.

**Figura 25**

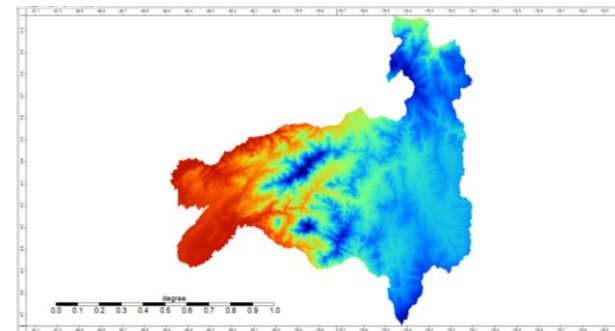
*Después de aplicar downscaling para 15/04/2012.*



*Nota.* Imagen de temperatura mínima con downscaling.

**Figura 27**

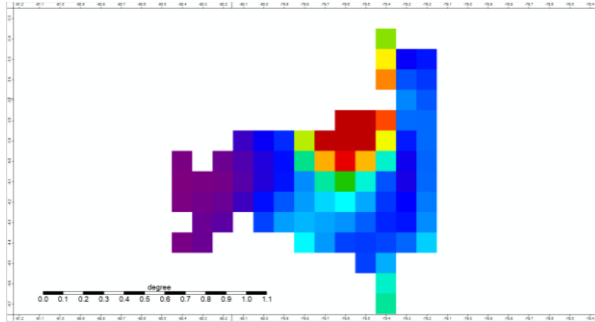
*Después de aplicar downscaling para 25/08/2012.*



*Nota.* Imagen de temperatura mínima con downscaling.

**Figura 28**

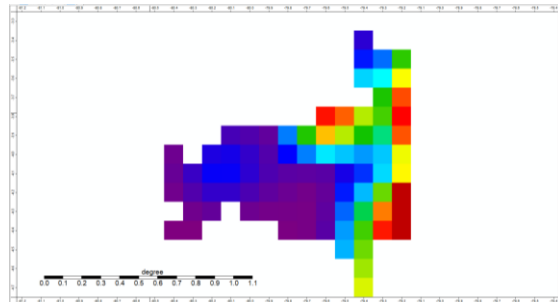
*Antes de aplicar downscaling para 03/02/2014.*



*Nota.* Imagen ERAS5 de precipitación.

**Figura 30**

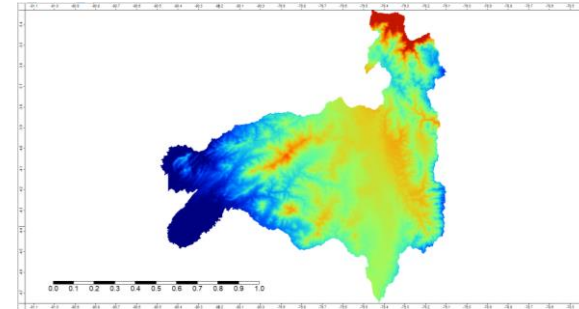
*Antes de aplicar downscaling para 14/06/2014.*



*Nota.* Imagen ERAS5 de precipitación.

**Figura 29**

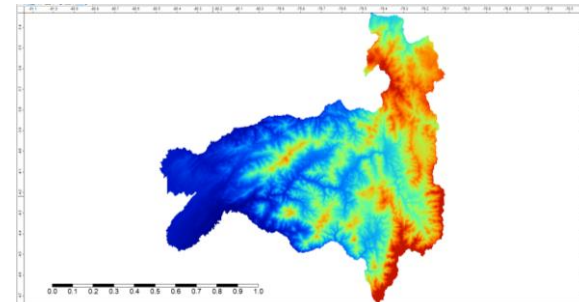
*Después de aplicar downscaling para 03/02/2014.*



*Nota.* Imagen de precipitación con downscaling.

**Figura 31**

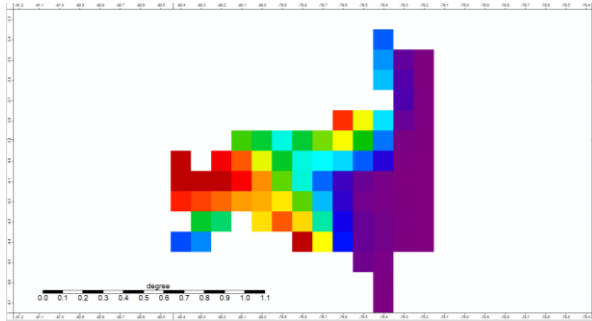
*Después de aplicar downscaling para 14/06/2014.*



*Nota.* Imagen de precipitación con downscaling.

**Figura 32**

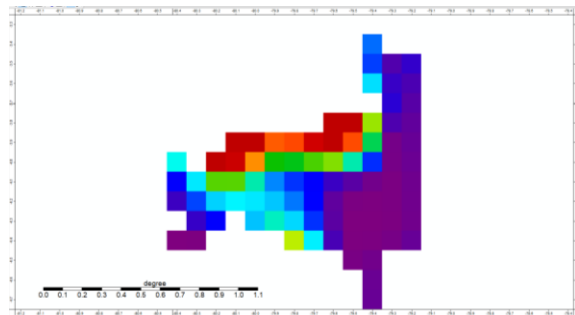
*Antes de aplicar downscaling para 15/04/2012.*



*Nota. Imagen ERAS5 de precipitación.*

**Figura 34**

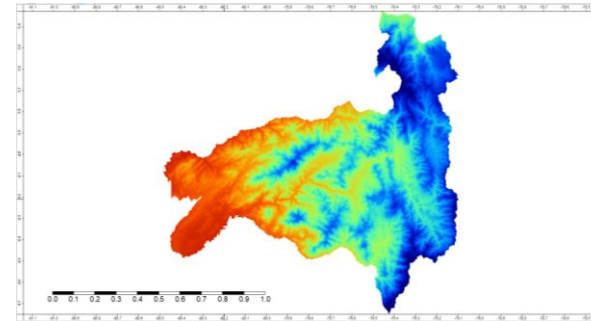
*Antes de aplicar downscaling para 25/08/2012.*



*Nota. Imagen ERAS5 de precipitación.*

**Figura 33**

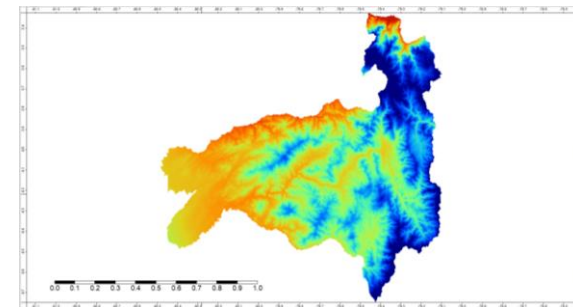
*Después de aplicar downscaling para 15/04/2012.*



*Nota. Imagen de precipitación con downscaling.*

**Figura 35**

*Después de aplicar downscaling para 25/08/2012.*



*Nota. Imagen de precipitación con downscaling.*

## Apéndice B: Resultados de aceptabilidad de Nash-Sutcliffe.

Información obtenida a partir del INAMH y sus estaciones meteorológicas ( $V_{Obs}$ ).

**Tabla 9**

*Temperatura máxima.*

Estaciones	T <sub>máx</sub> 03/02/2014	T <sub>máx</sub> 14/06/2014	T <sub>máx</sub> 15/04/2012	T <sub>máx</sub> 25/08/2012
Amaluza	28,4	25,6	26,4	26,2
Cariamanga	25,5	24,5	26	24
La Argelia	25,1	19,8	25,2	20,2
Yangana	26	23,8	23,8	23,6
Quilanga	23	24	NE	NE
Macara	32,8	29	NE	NE
<b>Promedio</b>	26,8	24,45	25,35	23,5

Nota: No existe dato para la fecha y estación meteorológica (NE)

**Tabla 10**

*Temperatura mínima.*

Estaciones	T <sub>min</sub> 03/02/2014	T <sub>min</sub> 14/06/2014	T <sub>min</sub> 15/04/2012	T <sub>min</sub> 25/08/2012
Amaluza	NE	NE	15,4	15,2
Cariamanga	13	13,8	NE	13,4
La Argelia	11,2	12,8	10,6	14,2
Yangana	14	16	13,2	10,4
Quilanga	11,5	14,4	NE	11,5
Macara	13,6	13	NE	NE
<b>Promedio</b>	12,66	14	13,067	12,94

Nota: No existe dato para la fecha y estación meteorológica (NE).

**Tabla 11**

*Precipitación.*

Estaciones	P 03/02/2014	P 14/06/2014	P 15/04/2012	P 25/08/2012
Amaluza	17,4	0	0	0
Cariamanga	6,3	0	0	0
La Argelia	16,2	22,4	0	1,2
Yangana	0	10,7	0	0
Quilanga	0	NE	NE	0
Macara	1,9	0	NE	NE
<b>Promedio</b>	6,967	6,62	0	0,24

Nota: No existe dato para la fecha y estación meteorológica (NE).

Información obtenida aplicando downscaling en el mismo sitio de ubicación de las estaciones meteorológicas ( $V_i$ ).

**Tabla 12**

*Temperatura máxima.*

Estaciones	T <sub>máx</sub> 03/02/2014	T <sub>máx</sub> 14/06/2014	T <sub>máx</sub> 15/04/2012	T <sub>máx</sub> 25/08/2012
Amaluza	24,795	24,246	25,073	23,352
Cariamanga	24,117	23,683	24,382	23,033
La Argelia	23,668	22,718	23,774	22,044
Yangana	24,370	23,470	24,587	22,714
Quilanga	24,254	23,627	NE	NE
Macara	28,933	28,271	NE	NE

Nota: No existe dato para la fecha y estación meteorológica (NE).

**Tabla 13**

*Temperatura mínima.*

Estaciones	T <sub>min</sub> 03/02/2014	T <sub>min</sub> 14/06/2014	T <sub>min</sub> 15/04/2012	T <sub>min</sub> 25/08/2012
Amaluza	NE	NE	15,247	13,920
Cariamanga	17,196	16,599		13,870
La Argelia	16,558	15,788	13,830	14,238
Yangana	17,179	16,536	14,682	14,265
Quilanga	17,293	16,572	NE	14,046
Macara	22,294	20,944	NE	NE

Nota: No existe dato para la fecha y estación meteorológica (NE).

**Tabla 14**

*Precipitación.*

Estaciones	P 03/02/2014	P 14/06/2014	P 15/04/2012	P 25/08/2012
Amaluza	4,743	0,05	0,143	0,182
Cariamanga	4,954	0,056	0,111	0,153
La Argelia	5,074	0,064	0,078	0,125
Yangana	5,186	0,058	0,108	0,16
Quilanga	4,992	NE	NE	0,162
Macara	3,069	0,005	NE	NE

Nota: No existe dato para la fecha y estación meteorológica (NE).

Como ejemplo se tomará los datos a la estación de Amaluza para la fecha 03/02/2014 para temperatura máxima, por lo cual tenemos:

$$V_{Obs} = 28,4$$

$$V_i = 24,795$$

$$\sum_{i=1}^n (V_{Obs} - V_i)^2 = (28,4 - 24,795)^2 = 12,991$$

De manera homologa se continuará para cada estación y fecha obteniendo así la siguiente tabla:

**Tabla 15**

*Temperatura máxima.*

Estaciones	T <sub>máx</sub> 03/02/2014	T <sub>máx</sub> 14/06/2014	T <sub>máx</sub> 15/04/2012	T <sub>máx</sub> 25/08/2012
Amaluza	12,991	1,832	1,759	8,106
Cariamanga	1,912	0,667	2,617	0,935
La Argelia	2,049	8,516	2,033	3,401
Yangana	2,655	0,109	0,621	0,784
Quilanga	1,573	0,139	NE	NE
Macara	14,947	0,531	NE	NE
<b>Σ</b>	<b>36,127</b>	<b>11,793</b>	<b>7,030</b>	<b>13,226</b>

Nota: Sumatoria de valores observados menos valores simulados al cuadrado.

**Tabla 16**

*Temperatura mínima.*

Estaciones	T <sub>min</sub> 03/02/2014	T <sub>min</sub> 14/06/2014	T <sub>min</sub> 15/04/2012	T <sub>min</sub> 25/08/2012
Amaluza	NE	NE	0,023	1,636
Cariamanga	17,609	7,837	NE	0,221
La Argelia	28,712	8,932	10,434	0,001
Yangana	10,109	0,288	2,197	14,944
Quilanga	33,569	4,719	NE	6,484
Macara	75,593	63,113	NE	NE
<b>Σ</b>	<b>165,592</b>	<b>84,888</b>	<b>12,654</b>	<b>23,287</b>

Nota: Sumatoria de valores observados menos valores simulados al cuadrado.

**Tabla 17***Precipitacion.*

Estaciones	P 03/02/2014	P 14/06/2014	P 15/04/2012	P 25/08/2012
Amaluza	160,200	0,003	0,020	0,033
Cariamanga	1,812	0,003	0,012	0,023
La Argelia	123,788	498,897	0,006	1,156
Yangana	26,895	113,252	0,012	0,026
Quilanga	24,920	NE	NE	0,026
Macara	1,367	0,00	NE	NE
$\Sigma$	<b>338,980</b>	<b>612,155</b>	<b>0,051</b>	<b>1,264</b>

Nota: Sumatoria de valores observados menos valores simulados al cuadrado.

Como ejemplo se tomará los datos de estación Amaluza, para este caso el promedio de todos los datos y el valor observado del 03/02/2014 para temperatura máxima, así:

$$V_{Obs} = 28,4$$

$$\bar{V} = 26,8$$

$$\sum_{i=1}^n (V_{Obs} - \bar{V})^2 = (28,4 - 26,8)^2 = 2,56$$

**Tabla 18***Temperatura máxima.*

Estaciones	T <sub>máx</sub> 03/02/2014	T <sub>máx</sub> 14/06/2014	T <sub>máx</sub> 15/04/2012	T <sub>máx</sub> 25/08/2012
Amaluza	2,56	1,3225	1,1025	7,29
Cariamanga	1,69	0,0025	0,4225	0,25
La Argelia	2,89	21,6225	0,0225	10,89
Yangana	0,64	0,4225	2,4025	0,01
Quilanga	14,44	0,2025	NE	NE
Macara	36	20,7025	NE	NE
$\Sigma$	<b>58,220</b>	<b>44,275</b>	<b>3,950</b>	<b>18,440</b>

Nota: Sumatoria de valores observados menos valores promedios de estaciones elevados al cuadrado.

**Tabla 19***Temperatura mínima.*

Estaciones	T <sub>min</sub> 03/02/2014	T <sub>min</sub> 14/06/2014	T <sub>min</sub> 15/04/2012	T <sub>min</sub> 25/08/2012
Amaluza	NE	NE	5,444444444	5,1076
Cariamanga	0,1156	0,04	NE	0,2116
La Argelia	2,1316	1,44	6,084444444	1,5876
Yangana	1,7956	4	0,017777778	6,4516
Quilanga	1,3456	0,16	NE	2,0736
Macara	0,8836	1	NE	NE
<b>Σ</b>	<b>6,272</b>	<b>6,640</b>	<b>11,547</b>	<b>15,432</b>

Nota: Sumatoria de valores observados menos valores promedios de estaciones elevados al cuadrado.

**Tabla 20***Precipitación.*

Estaciones	P 03/02/2014	P 14/06/2014	P 15/04/2012	P 25/08/2012
Amaluza	108,8544444	43,8244	0	0,0576
Cariamanga	0,444444444	43,8244	0	0,0576
La Argelia	85,25444444	249,0084	0	0,9216
Yangana	48,53444444	16,6464	0	0,0576
Quilanga	48,53444444	NE	NE	0,0576
Macara	25,67111111	43,8244	NE	NE
<b>Σ</b>	<b>317,293</b>	<b>397,128</b>	<b>0,000</b>	<b>1,152</b>

Nota: Sumatoria de valores observados menos valores promedios de estaciones elevados al cuadrado.

Aplicación de la ecuación

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_{Obs} - V_i)^2}{\sum_{i=1}^n (V_{Obs} - \bar{V})^2}$$

$$E = 1 - \frac{36,127}{58,220} = 0,3795 = 37,95\%$$

**Tabla 21***Eficiencia de Nash-Sutcliffe.*

<b>Fecha</b>	<b>3/2/2014</b>	<b>14/6/2014</b>	<b>15/4/2012</b>	<b>25/8/2012</b>
<b>Dato</b>				
<b>Tmáx</b>	0.38	0.73	0.00	0.28
<b>Tmin</b>	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>P</b>	0.00	0.00	0.00	0.00

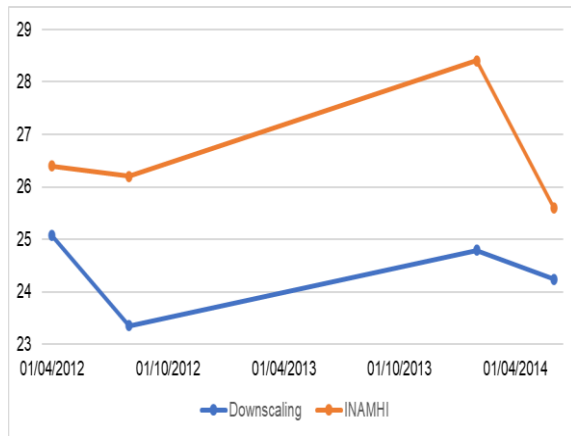
Nota: *Valores de aceptabilidad.*

## Apéndice C: Curvas de datos obtenidos a partir de INAMHI y downscaling.

### Temperaturas máximas

**Figura 36**

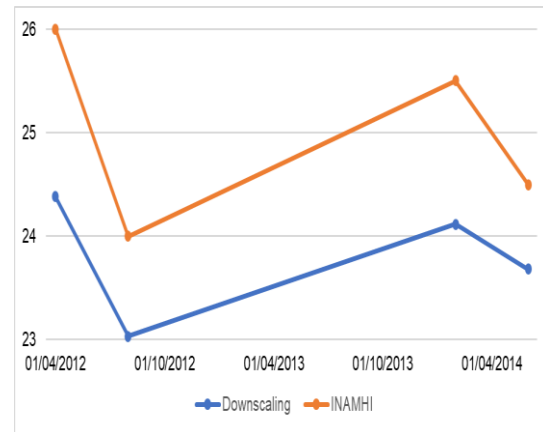
Curvas para temperatura máxima estación Amaluzá.



Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 37**

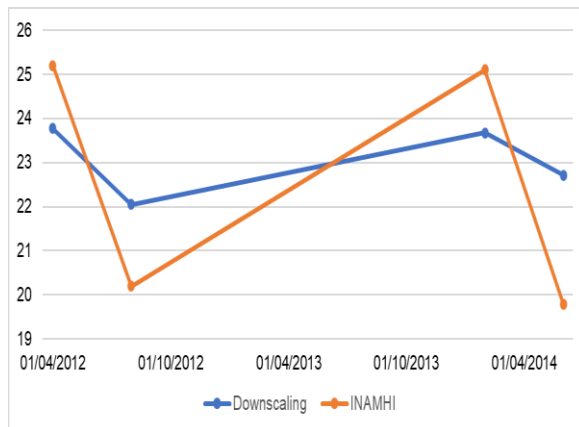
Curvas para temperatura máxima estación Cariamanga.



Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 38**

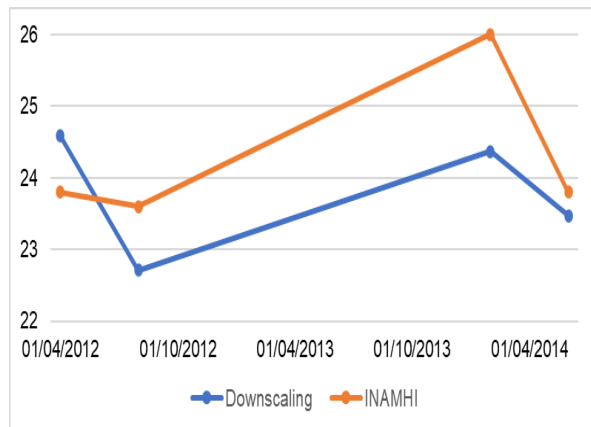
Curvas para temperatura máxima estación La Argelía.



Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 39**

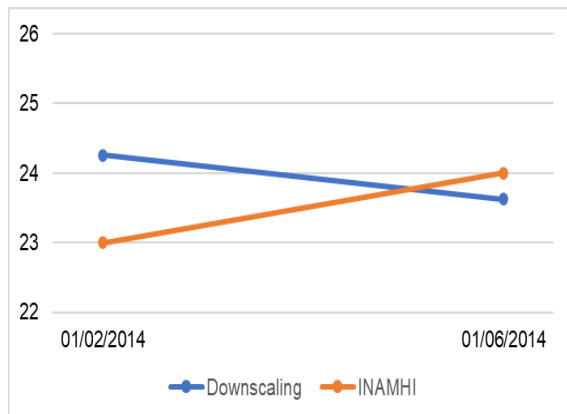
Curvas para temperatura máxima estación Yangana.



Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 40**

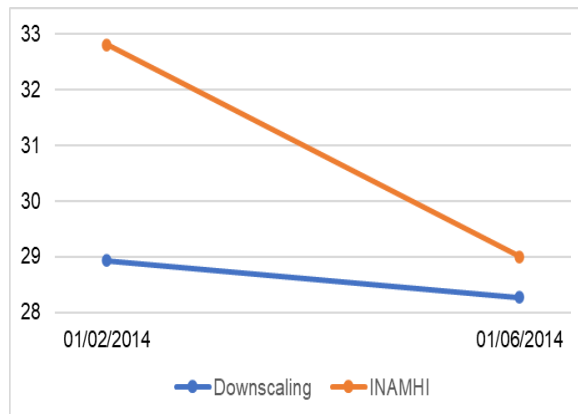
Curvas para temperatura máxima estación Quilanga.



Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 41**

Curvas para temperatura máxima estación Macará

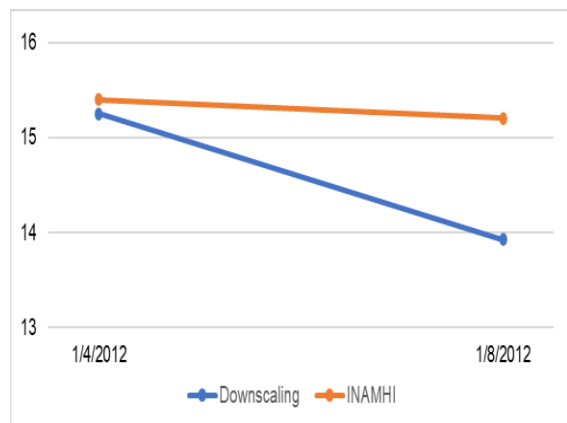


Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Temperaturas mínimas**

**Figura 42**

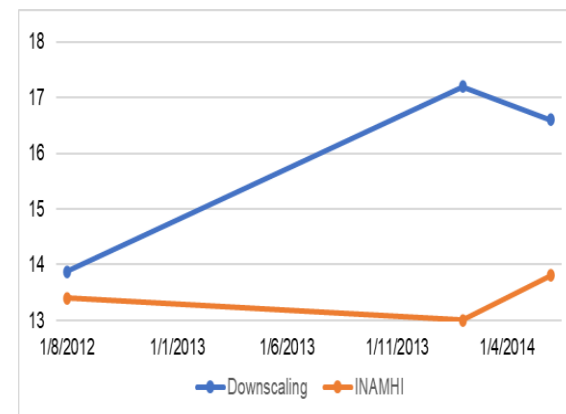
Curvas para temperatura mínima estación Amalusa.



Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 43**

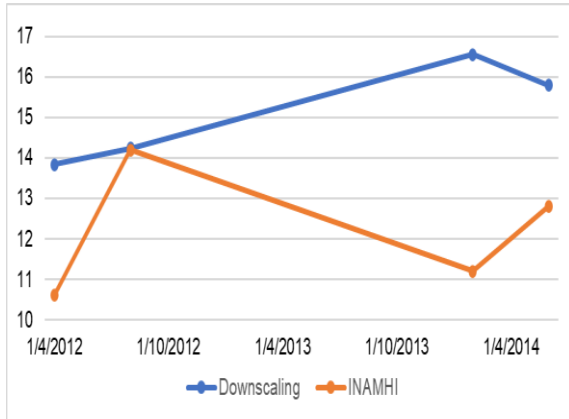
Curvas para temperatura mínima estación Cariamanga.



Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 44**

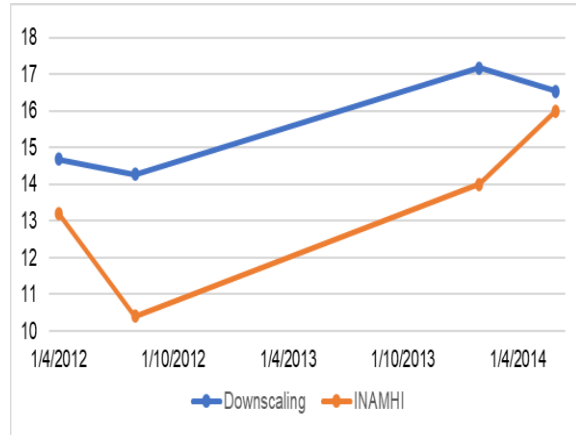
Curvas para temperatura mínima estación La Argelia.



Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 45**

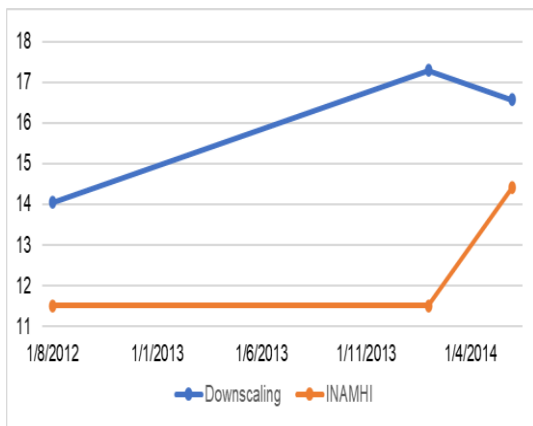
Curvas para temperatura mínima estación Yangana.



Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 46**

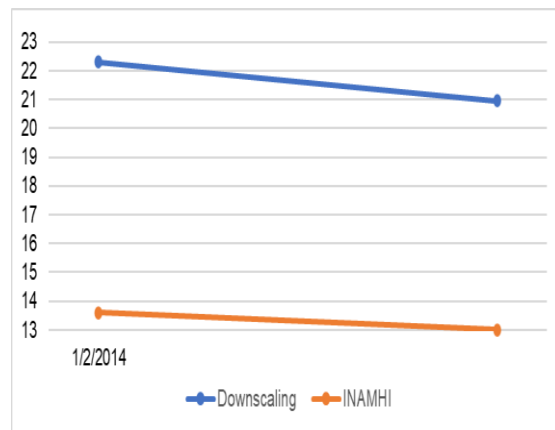
Curvas para temperatura mínima estación Quilanga.



Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 47**

Curvas para temperatura mínima estación Macará.

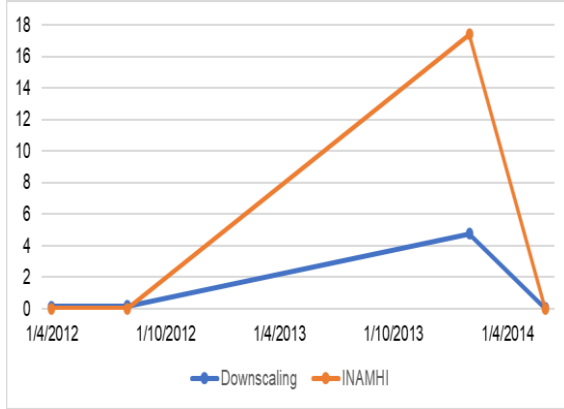


Nota. Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Precipitaciones**

**Figura 48**

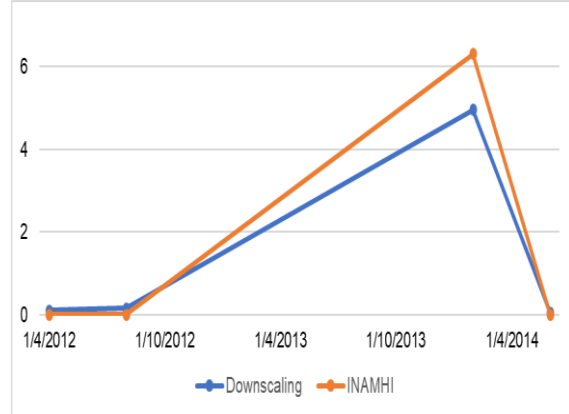
*Curvas para precipitación estación Amaluza.*



*Nota.* Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 49**

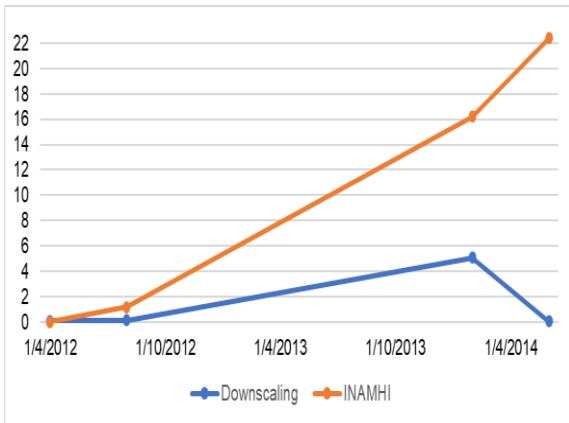
*Curvas para precipitación estación Cariamanga.*



*Nota.* Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 50**

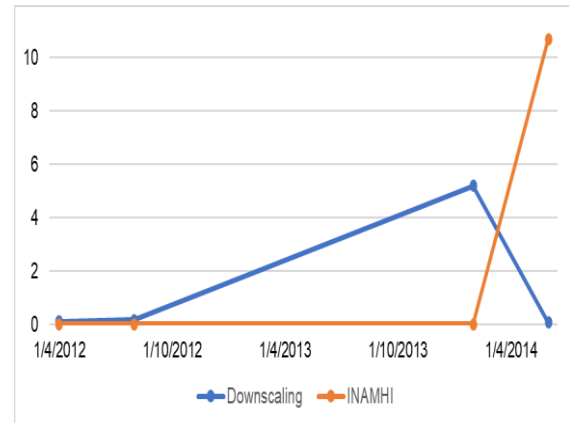
*Curvas para precipitación estación La Argelia.*



*Nota.* Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 51**

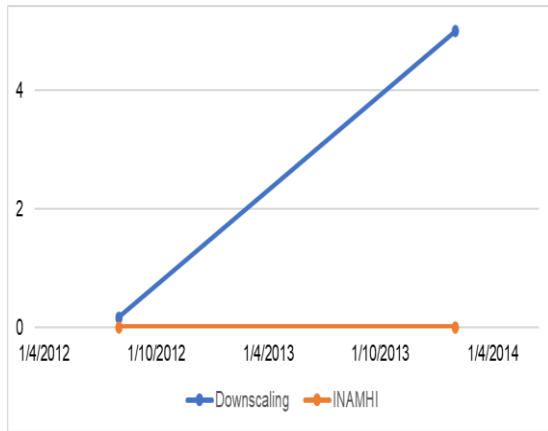
*Curvas para precipitación estación Yangana.*



*Nota.* Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 52**

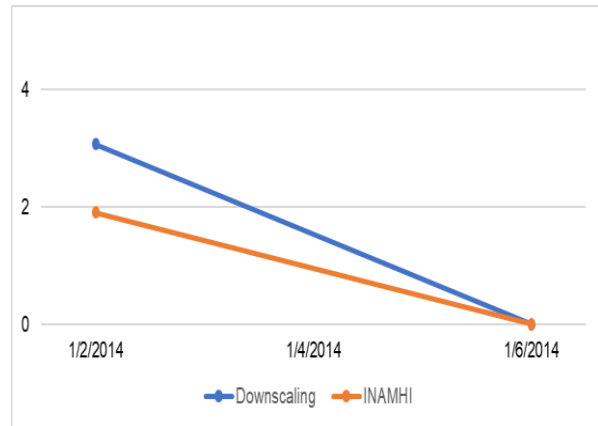
*Curvas para precipitación estación Quilanga.*



*Nota.* Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.

**Figura 53**

*Curvas para precipitación estación Macará.*



*Nota.* Gráfica de Downscaling y datos medidos por INAMHI.