

## **Análisis del clima urbano por teledetección en el Altiplano peruano**

**Diana Karen Pari Quispe**

Magíster FAU, UNB, Brasil  
dia.parq@gmail.com

**Joára Cronemberger Ribeiro Silva**

Profesora Doctora FAU, UNB, Brasil  
joaracronemberger@unb.br

**Caio Frederico e Silva**

Profesor Doctor FAU, UNB, Brasil  
caiofreds@gmail.com

## RESUMEN

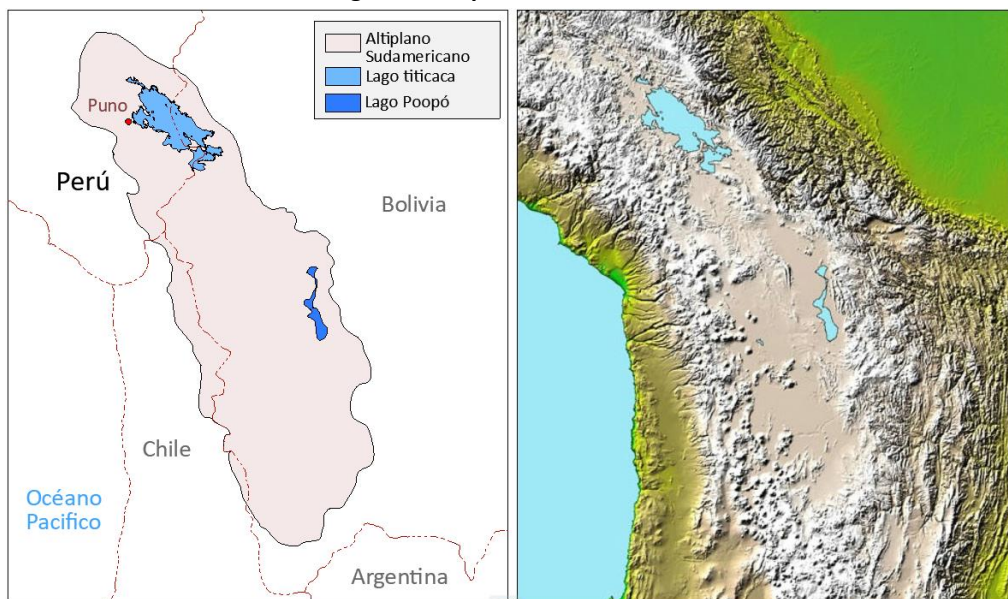
El altiplano Sudamericano es una amplia planicie situada a 3800 metros sobre el nivel del mar, se caracteriza por tener bajas temperaturas sobre todo en los meses más fríos con grandes amplitudes térmicas diarias pudiendo llegar por debajo de los 0°C. Este artículo propone el análisis del clima urbano por el método de teledetección a través de QGIS y la calculadora ráster para determinar la temperatura superficial y radiación solar en un sector de viviendas sociales existentes asentadas a orillas del lago Titicaca. Los resultados indican que temperatura superficial para el mes de julio del 2019 varía de 14,63 °C a 18,95 °C y la radiación en el área de estudio es de 706 W/m<sup>2</sup>. Con ello se señalan factores que influyen en el microclima urbano, así como la ventaja solar presente en el contexto Andino.

**PALABRAS CLAVE:** Vivienda social. Teledetección urbana. Altiplano Sudamericano. Radiación solar.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Altiplano sudamericano es una extensa planicie de altura a 3800 metros sobre el nivel del mar, abarca los territorios de Bolivia, Chile y Perú conocido como la meseta del Collao o meseta del Titicaca Figura 1.

Figura 1: Altiplano sudamericano



Fuente: (NASA, 2003; SAYRI, 2021)

En Perú se ubica al Sur del país, pertenece a la región Puna donde hay baja presión atmosférica y, por lo tanto, menos concentración de oxígeno. El clima es frío, seco y tiene grandes amplitudes térmicas diarias. “Donde es frecuente los fenómenos de helada y friaje” (PCM, 2019, p. 24).

“La humedad relativa suele ser baja, sobre todo en los meses de invierno, las precipitaciones, en forma de granizo o nieve, en verano, suelen acumular cantidades por encima de los 750 mm. La radiación solar es alta y constante, los vientos, generalmente de intensidad media, varían según el emplazamiento y en función de la hora del día” (WIESER, 2008, p. 49).

Las características regionales como la proximidad de masas de agua que modifica la amplitud térmica de un lugar (MONTERDE, 2014, p. 11). El clima urbano influye en el

microclima, en este contexto un factor que influencia es el Lago Titicaca. Se ubica en los territorios de Bolivia y Perú Posee un área de 8.300 km<sup>2</sup> de los cuales el 56 % (4.996 km<sup>2</sup>) corresponden a Perú y el 44 % (3.304 km<sup>2</sup>) a Bolivia y 1.125 km de costa; su profundidad máxima se estima en 281 m y se calcula su profundidad media en 107 m. Su nivel es irregular y aumenta durante el verano austral.

En la franja costera del Titicaca se hallan las mayores áreas demográficas tal como sucede en muchas otras ciudades donde es común ver que las comunidades se establecían cerca de los cuerpos de agua. Para esta investigación fue identificado un sector representativo de viviendas sociales existentes de la ciudad de Puno para el análisis de factores que influyen en el clima urbano y por ende a la vivienda que por las características constructivas se presenta bastante expuesta a la intemperie, por ello es necesario analizar factores que mejoren su estado situacional.

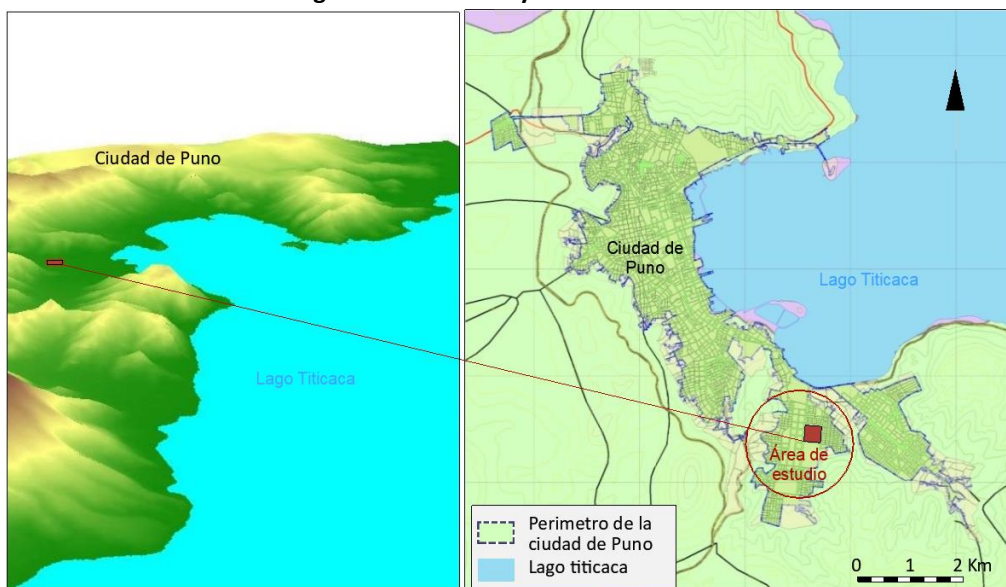
## 2. METODOLOGIA

Esta investigación busca analizar el clima urbano por el método de teledetección para determinar la temperatura superficial y radiación solar en un sector de viviendas sociales existentes asentadas a orillas del lago Titicaca. Primeramente, se identificó un sector con viviendas sociales en la ciudad de Puno. Seguidamente se determinó la temperatura superficial desde 20 años atrás a la actualidad para denotar la influencia del crecimiento urbano. Finalmente se determinó la radiación solar del sector elegido.

### 1.1. CASOS PRESENTES

La vivienda social en el Altiplano andino fue promovida por los programas del gobierno ENACE, FONAVI y en las dos últimas décadas por el programa Techo propio. Se encuentran en toda la ciudad de forma dispersa. En la línea costera entre 1 y 2 km se observó 18 poblados. Allí las viviendas sociales están asentadas muy próximas al lago destacando la ciudad de Puno por ser la más extensa y poblada Figura 2.

Figura 2: Relieve 3D y sector de estudio



Fuente: Adecuado de (MPP PUNO, 2012)

Un ejemplo visible es el sector 7 con la urbanización Salcedo que data aproximadamente desde los años ochenta a la actualidad. En este contexto la vivienda social no ha sufrido grandes variaciones comparándolo con un ejemplo en la ciudad de Juliaca (Praderas del INKA” y la residencial Perlas del altiplano) que presentan características formales y constructivas muy similares a las viviendas existentes en Salcedo-Puno, mostrando así que con el pasar de cuarenta años las condiciones de vivienda no ha mostrado mejoría frente al clima.

El área de estudio presenta viviendas ladrillo cerámico que van de uno a cinco pisos, predominando la de dos niveles en un 31,0%. Con una tendencia de ocupar todo el lote y crecimiento vertical Figura 3.

Figura 3: Sector con viviendas sociales



Fuente: Elaboración propia

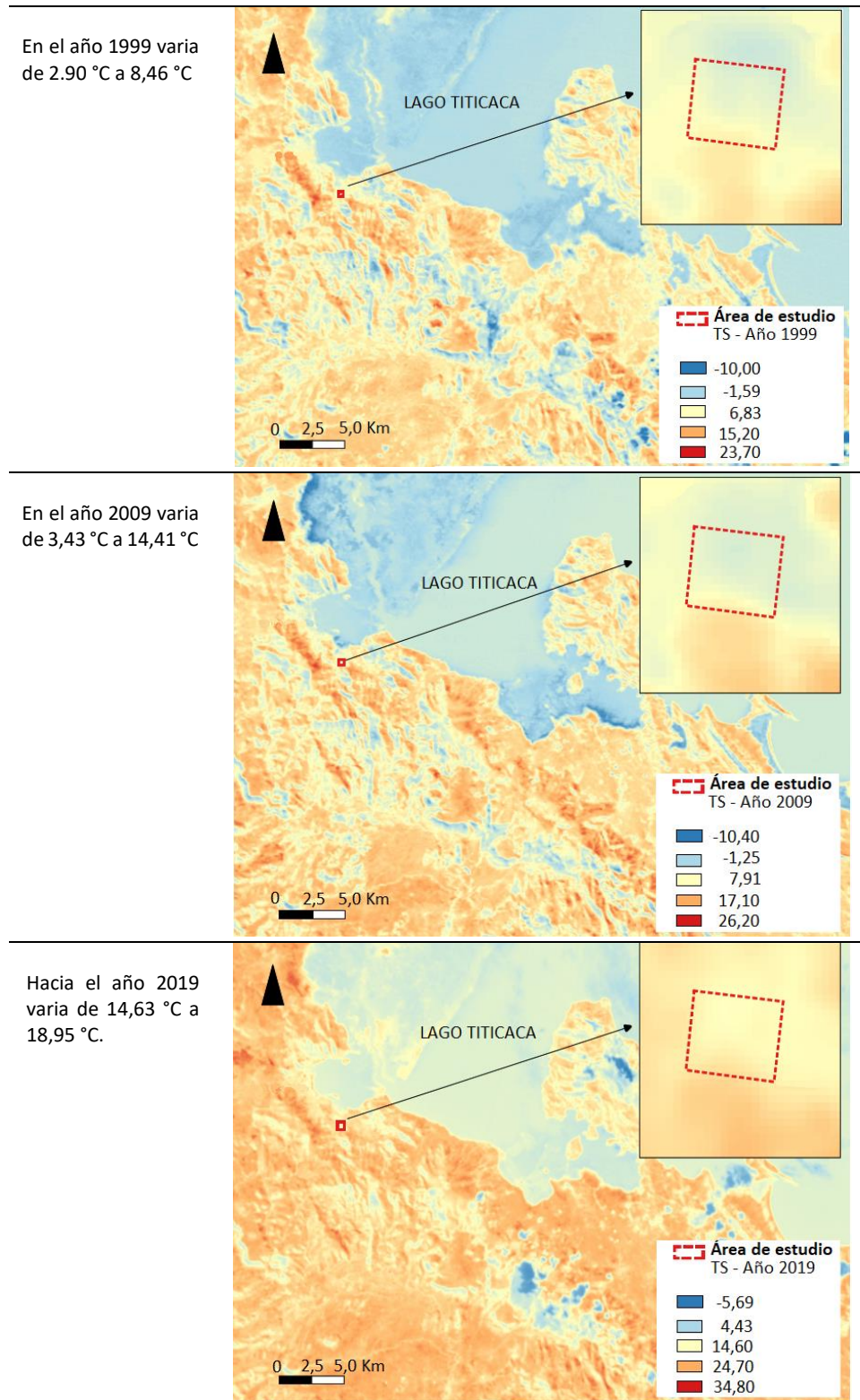
## 1.2. TEMPERATURA DE SUPERFIE DEL ÁREA DE ESTUDIO

La teledetección o sensoramiento permite encontrar información de objetos y fenómenos en la superficie a través de la radiación electromagnética, es una forma de energía que se propaga mediante ondas que se desplazan por el espacio a la velocidad de la luz (300.000 km/s) transportando cantidades discretas de energía. Según (VOOGT, J. A.; OKE, 2002, p. 370) “[...] la teledetección térmica se ha utilizado sobre áreas urbanas para evaluar el calor urbano”. Estas longitudes de ondas se caracterizan por tener longitudes mayores de un metro. El conjunto de ondas se denomina espectro magnético y es captada por un satélite que lo interpreta y lo transforma a imagen, está conformada por bandas, en el caso de las imágenes satelitales (Landsat 8 conformada por 11 bandas espectrales). La combinación de bandas es lo que permite obtener información de espacio y tiempo, el medio más efectivo por el cual los datos multiespectrales se pueden representar para formular algoritmos para el análisis cuantitativo y trazarlos en un espacio de patrón, o espacio vectorial multiespectral, con tantas dimensiones como componentes espectrales. “En este espacio, cada píxel de una imagen se traza como un punto con coordenadas dadas por el valor de brillo del píxel en cada componente” (RICHARDS, 2006, p. 75, traducción nuestra).

La teledetección se utilizó en esta investigación para determinar la temperatura de superficie del mes de Julio, a través de QGIS y la calculadora ráster para obtener la temperatura de la superficie en grados centígrados. En el área de estudio se observa que en un periodo de

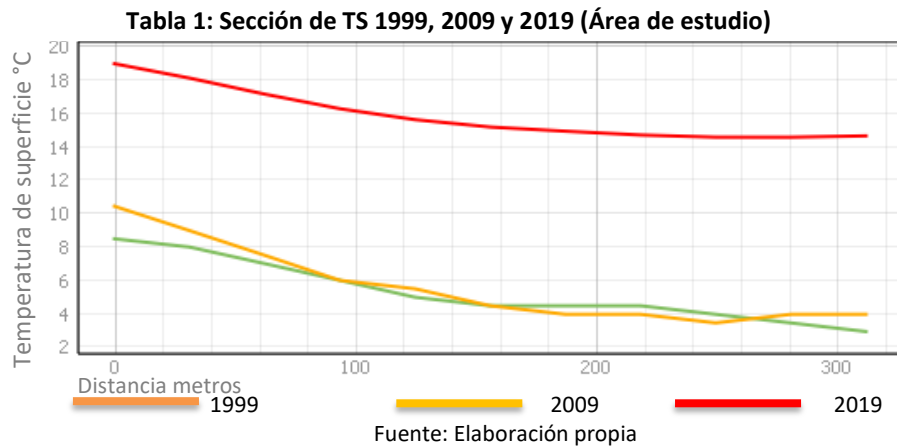
veinte años desde el año 1999, 2009 y 2019 la temperatura de la superficie tuvo variaciones incrementándose de forma progresiva Figura 4.

Figura 4: Temperatura de superficie en un periodo de 20 años



Fuente: Elaboración propia, Extraído de (USGS, 2019), procesado con QGIS

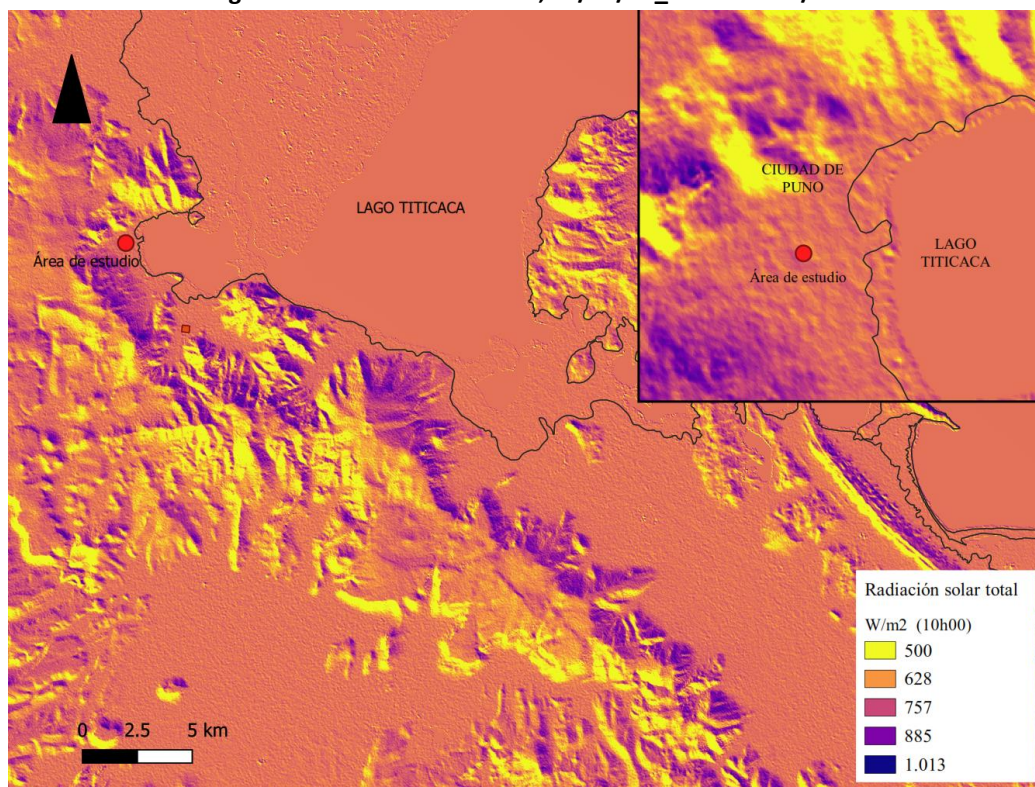
En la Tabla 1 se observa una sección de temperatura de superficie del sector analizado, donde se observa que la temperatura de superficie incremento sobre todo en la última década.



### 1.3. RADIACIÓN SOLAR EN EL ÁREA DE ESTUDIO

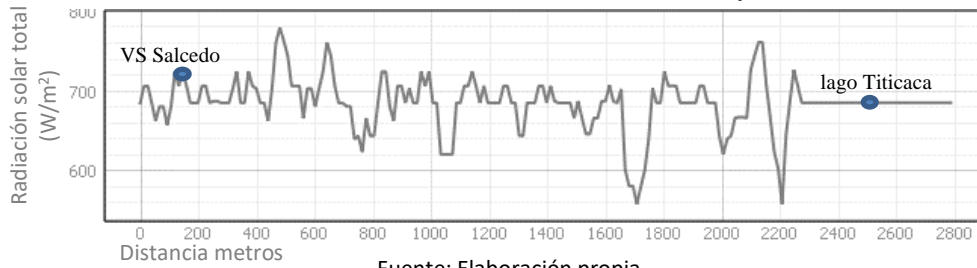
Otro factor influyente en el Altiplano “son los altos valores de energía solar” (MINEM; SENAMHI, 2003, p. 20). En el altiplano debido a la cercanía al Ecuador la radiación incide de forma perpendicular. En el sector de estudio se determinó la radiación solar en  $W/m^2$  y  $KWh/m^2$ , (radiación difusa y directa), siendo el sector de estudio  $706 W/m^2$ , el Lago Titicaca  $682 W/m^2$ ) Figura 5 y Tabla 2. Así como el valor de  $5,9 KWh/m^2$  Figura 6 y Tabla 3.

**Figura 5: Radiación solar total, 16/07/19\_10h00 en  $W/m^2$**



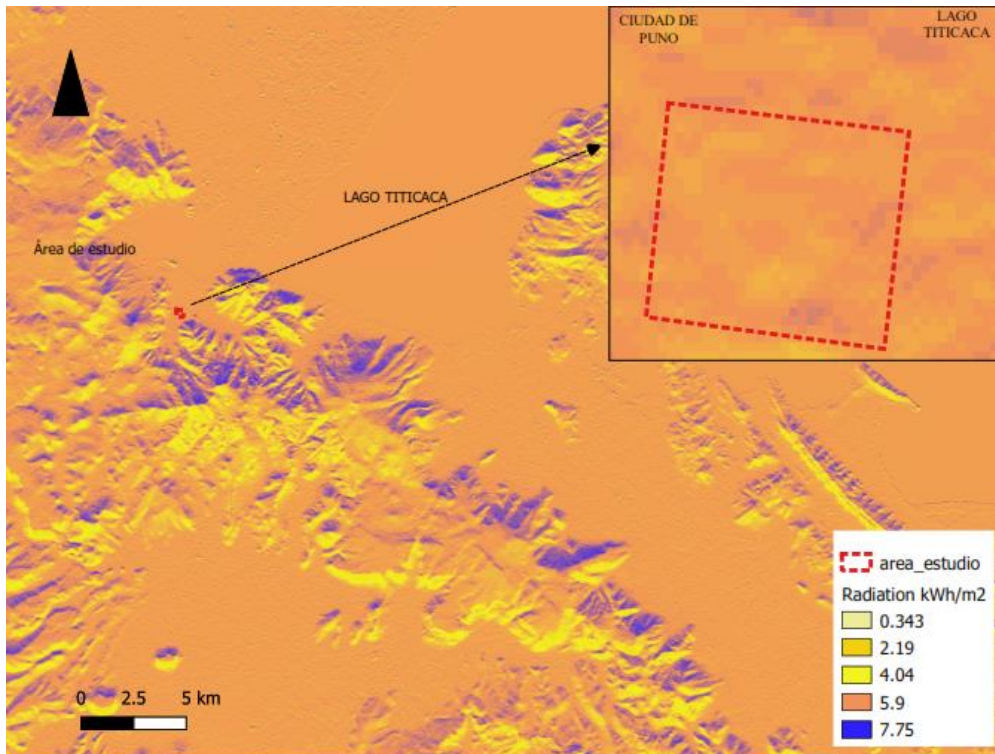
Fuente: Elaboración propia, Extraído de (USGS, 2019), procesado con QGIS

Tabla 2: Sección de radiación solar total en  $W/m^2$



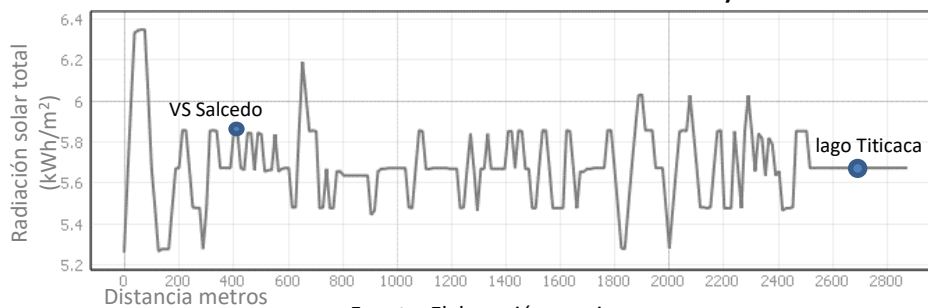
Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Radiación solar total, 16/07/19\_10h00 en  $KWh/m^2$



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Sección de radiación solar total en  $KWh/m^2$



Fuente: Elaboración propia

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La densificación urbana es uno de los factores que incrementan la temperatura de la superficie por el uso de materiales de construcción como el ladrillo, concreto, pavimento, metal, entre otros, los cuales retienen el calor generado por la radiación solar. Una de las causas

observadas es la tendencia en el sector analizado de ocupación de los lotes de viviendas sociales existentes y el crecimiento vertical cuestión que se viene dando a la actualidad de manera acelerada. Lo que provocaría menor ganancia solar a los predios debido a las calles angostas que oscilan entre los 6m y 7m de ancho perjudicando el confort de las viviendas sociales existentes.

Es necesario analizar el clima urbano para denotar los factores que influyen yendo de una escala macro a micro pues constituyen los delimitantes cuando se quiere analizar las posibilidades que posee cada vivienda. Para el sector analizado el método de teledetección fue de gran ayuda para determinar las condiciones en que se encuentran los sectores de la ciudad de Puno.

La temperatura de superficie al año 1999 oscilaba en una media de 5,68 °C, al año 2009 en 8,92 °C y al año 2019 en 16,79 °C. Es decir que de veinte años a la actualidad incremento en 11.11 °C producto del crecimiento y densificación urbana sobre todo en la última década donde se observa un gran salto. La temperatura de superficie genera calor hacia la atmosfera y de continuar así se iría contribuyendo al calentamiento de zonas urbanas, donde el altiplano andino no está exento.

#### 4. CONCLUSIÓN

El clima urbano en el Altiplano peruano presenta por un lado desventajas por las condicionantes climáticas del lugar, las variaciones altitudinales y la alta amplitud térmica a lo largo del día pero por otro lado posee ventajas pues en la estación de invierno el cielo está despejado y se cuenta con radiación solar abundante que abre posibilidades para la mejora térmica de las viviendas que allí se encuentran, además de que el lago Titicaca por su cercanía cumple la función termorreguladora dotando de un clima más ameno con respecto a ciudades más lejanas del mismo.

Los factores mostrados en esta investigación influyen directamente en el microclima del sector analizado donde se observó un rápido crecimiento y densificación urbana lo que viene trayendo un aumento de la temperatura de superficie, pero a la vez imposibilitando gestionar estrategias pasivas de ganancia solar a las viviendas sociales de los sectores existentes debido al rápido crecimiento tanto horizontal como vertical.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS; SENAMHI. **ATLAS DE ENERGÍA SOLAR**. Electrificación rural a base de energía fotovoltaica en el Perú, 2003.

MONTERDE, M. A. **Guías de estrategias de diseño pasivo para la edificación**. In: INSTITUTO VALENCIANO DE LA EDIFICACIÓN (Ed.). . Foro para la edificación sostenible de la comunitat Valenciana. 1ra. ed. España: IVE, 2014. p. 66.

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PUNO. **Plan de desarrollo urbano 2012-2022**, Puno-Perú. p. 43, 2012.

NASA. **Photojournal**. Disponible em: <<https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA03388>>. Acceso em: 6 nov. 2021.

PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS. **Plan multisectorial ante heladas y friaje 2019-2021**. Decreto Supremo N° 015Perú, 2019.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. 1st. ed. New York, USA: Springer, 2006.

SAYRI. **Mapa cuencas endorréicas meseta del collao**. Disponible em: <[https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Mapa\\_cuencas\\_endorréicas\\_meseta\\_del\\_collao.jpg](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Mapa_cuencas_endorréicas_meseta_del_collao.jpg)>. Acceso em: 8 nov. 2021.



USGS. **Cience for a changing world**. Disponible em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 86. 2002.

WIESER, M. Consideraciones bioclimáticas en el diseño arquitectónico: el caso Peruano. *Arquitectura y Ciudad.*, v. Cuadernos, p. 93, 2008.