

# Análisis de variables climáticas del pramo La Rusia en el municipio de Duitama, departamento de Boyacá

Camilo Andres Cruz Sanchez  
Departamento de Ciencias Forestales  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Antioquia  
cacruzs@unal.edu.co

Natali Andrea Lopez Toro  
Área Curricular de Medio Ambiente  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Antioquia  
naalopezto@unal.edu.co

Juan David Leon Torres  
Departamento de Ciencias Forestales  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Antioquia  
judleonto@unal.edu.co

Cristian Camilo Gaan Tapasco  
Departamento de Ciencias Forestales  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Antioquia  
ccganant@unal.edu.co

Juan Jos Olarte Zapata  
Departamento de Ciencias Forestales  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Antioquia  
jolartez@unal.edu.co

**Abstract**—Los pramos son ecosistemas muy complejos e importantes por el papel que juegan en la regulación y conservación del recurso hídrico, por lo cual se hace necesario entender el comportamiento de las variables climáticas que se presenta en ellos, es por esto que se realiza un estudio en el pramo de La Rusia donde se toman datos de precipitación, humedad relativa, temperatura, radiación solar y velocidad del viento para 6 meses del año 2019 a través de una estación climatológica que hace parte de un complejo de estaciones climáticas que ha venido instalando el equipo de trabajo del Dr. Mark Mulligan de Kings College y dos sensores HOBO con los cuales se midieron temperatura y humedad relativa a través del pramo durante cuatro días del mes de marzo. Datos con los cuales se hicieron relaciones entre las diferentes variables climáticas por medio del software R los cuales mostraron correlaciones positivas para la humedad relativa vs precipitación(0.38) y correlaciones negativas entre la radiación vs humedad relativa(-0.81). Para los datos de los sensores se realizó un modelo kriging ordinario de primer orden y transformación logarítmica por medio del software Arcgis, el cual mostró una disminución en la temperatura a medida que se aumentaba la altitud, pero no con una relación lineal sino que era fluctuante.

**Index Terms**—Pramo; variables climáticas; Correlación

## INTRODUCCIÓN

El pramo es uno de los ecosistemas más importantes para la captura de agua, este se encuentra presente en un 99% en la Cordillera de los Andes, en la Sierra Nevada de Santa Marta y Costa Rica, pero también existen pramos en África, Indonesia y Papua Nueva Guinea [?]. Es por esto que los pramos ubicados en la Cordillera de los Andes han sido definidos como extensas zonas en la cima de las cordilleras, entre el bosque andino y el límite inferior de las nieves perpetuas [?], haciendo privilegiados a los pocos países en el mundo que cuentan con este tipo de ecosistema por la riqueza acufera que ellos representan. Para el caso de Colombia en el que se encuentra el 49% de los pramos del mundo, ocupando el 1.7% del territorio nacional con aproximadamente 34 pramos [?]. De estos, según el Ministerio de Ambiente el departamento de Boyacá cuenta con el 18.7% del total nacional. El complejo

de pramos Guantiva- La Rusia está presente en 16 municipios de este departamento; conteniendo así el pramo de La Rusia en el que se centrará el presente informe con el fin de conocer y analizar las variables climáticas que allí se presentan.

La altura a la que se puede encontrar un pramo no es igual para todos los casos, pues el límite inferior de estos es variable según la latitud, la vertiente, el clima global y la actividad humana. En América se encuentran entre los 3000 y 4800 *msnm* aproximadamente. Para Colombia, en las cordilleras central y occidental está a 3500 *msnm* y en la oriental a 3600 *msnm*. La zonificación típica utilizada en la alta montaña colombiana corresponde a bosque alto andino (3000 a 3200 *msnm*), pramo bajo o subpramo (entre 3200 y 3500 o 3600 *msnm*), pramo propiamente dicho (entre 3500 o 3600 y 4100 *msnm*) y superpramo (entre 4100 y 4500 *msnm*) [?]. Diferentes autores confirman que el clima en los pramos realmente es muy variado, aunque se presenten condiciones de altura similares y de proximidad [?]. Esta variabilidad se presenta en todas las características climáticas, tales como precipitación, temperatura, radiación, velocidad del viento y humedad relativa y aunque hay todavía pocas estaciones climáticas en todos los pramos, es evidente la variación en los resultados de la medición de estos parámetros climáticos.

Por lo general en la transición de bosque y el subpramo las temperaturas medias multianuales en algunos casos pueden ser incluso menores a 9°C, aproximadamente por encima de los 3300 *msnm*, en el pramo medio podrán llegar a ser menores de 6°C y ya en el superpramo cerca de las nieves perpetuas son inferiores a 3°C [?]. En cuanto a la variación de la temperatura media mensual no hay grandes cambios, sin embargo en los pramos la temperatura puede variar a gran escala durante el día y la noche. En la precipitación hay un amplio rango y un gran contraste entre los pramos de Colombia, esta puede variar entre los 700 y 5000 *mm* al año. Algunos de los pramos tienen un régimen de lluvias monomodal como el pramo de Chingaza [?] y otros bimodal como el complejo Guantiva - La Rusia

[?]; los pramos ms hmedos se encuentran en las vertientes oriental de la cordillera oriental y occidental de la cordillera occidental, en cuanto a los ms secos se encuentran en ciertas reas al interior de la cordillera oriental [?]. Los ecosistemas de pramo presentan una humedad relativa alta que es variable y estacional, siendo mxima en tiempos de lluvia y mnima en tiempos secos, usualmente en un rango que comprende entre un 80 y 90% esto debido a un factor de suma importancia en los pramos como lo es el fenmeno de niebla [?]. Comnmente la evapotranspiracin en los pramos es baja pues casi siempre el ambiente es muy cercano a la saturacin y se presenta un alta radiacin ultravioleta sobre todo en periodos secos y abundancia de luz difusa [?]. Por ltimo los vientos en los pramos son muy variables pero regularmente los ms intensos se dan en los pramos que se encuentran en las vertientes de los valles interandinos [?].

## MATERIALES Y MTODOS

### *Localizacin y descripcin del rea de estudio*

El pramo La Rusia se encuentra ubicado en lmites de los departamentos de Boyac y Santander, en el flanco occidental de la cordillera oriental, entre los 3100 y 4280 *msnm*. Este pramo hace parte de un extenso corredor de pramos y bosques alto andinos denominado como Guantiva - La Rusia, complejo que incluye a los pramos de Cruz Colorada, Guina, Pan de Azcar, Carniceras y Guata y que tiene una extensin en rea de 119.009 *ha* (Corpoboyac y CAS, 2017). En el pramo La Rusia predomina una topografa abrupta que vara de acuerdo con la alternancia de las formaciones geolgicas presentes. El pramo est influenciado a escala global, por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), de la misma forma que otros pramos y de manera local por el movimiento de las corrientes de vientos producto del relieve, lo que genera un rgimen hmedo en mayor o menor medida. El rgimen de lluvias es bimodal, con una precipitacin mxima entre abril- mayo y octubre- noviembre (UPTC, 2015).

El sitio de estudio se encuentra dentro del pramo La Rusia en la vereda San Alejo, municipio de Duitama Boyac; contiguo por el norte a los lmites con el municipio de Charal departamento de Santander. El sitio de inters para el estudio y muestreo de datos climticos est representado por las coordenadas  $5^{\circ}57'48.0''N$   $73^{\circ}05'16.3''W$  y presenta una altitud de unos 3500 *msnm*.

### *Levantamiento de informacin*

En una visita de varios das (13,14 y15 de marzo) al complejo de pramos Guantiva-La Rusia para el departamento de Boyac, se instalaron varias estaciones climticas de tipo Davis con sensores para algunas variables climticas, que en el presente y con fines investigativos estn tomando datos climticos (de temperatura, humedad relativa, velocidad y direccin del viento, precipitacin y radiacin solar). Para el desarrollo del anlisis que se presenta en este artculo slo se tuvo en cuenta una estacin climtica de hardware y software Open source con datos para 6 meses del ao 2019, de enero a junio; tomados cada 15 minutos para todas las variables mencionadas. La



Fig. 1. Modelo de temperatura

estacin climtica ubicada en una cuenca del pramo, de la cual se obtuvieron los datos, hace parte de un complejo de estaciones climticas instaladas por el equipo de trabajo del Dr. Mark Mulligan de Kings College en London, como parte de un proyecto para mejorar y calibrar equipos de monitoreo open source ms rentables para los proyectos de tipo cientfico e investigativos.

Tambin se usaron dos sensores HOBO mviles para recolectar informacin de temperatura y humedad relativa en tiempo real con intervalos de tiempo de 1 minuto por medicin, los cuales fueron puestos en funcionamiento a partir de las 8:00 hrs hasta las 17:00 hrs los das viernes 13 de marzo y sbado 14 de marzo, y para el da domingo 15 de marzo fueron puestos en funcionamiento entre las 8:00 hrs y las 15:00 hrs, llevando los sensores por parte del complejo de pramos Guantiva- La Rusia, a la vez que se instalaron las estaciones climticas y se tomaron otros datos como caudal, calidad del agua, y muestras de suelos con el resto del grupo de trabajo, datos que no se tendr en cuenta para este informe. Asimismo, se hizo uso del software de la misma empresa (HOBO) para dispositivos celulares en el cual es posible verificar los datos en tiempo real de las variables humedad relativa y temperatura, y adems tener estos a disposicin para bajarlos en distintos formatos de trabajo.

### *Procesamiento de los datos recolectados*

Los datos climticos pueden proporcionar una gran cantidad de informacin sobre el medio ambiente atmosfrico que afecta a casi todos los aspectos del esfuerzo humano [?], es por ello que es importante el anlisis de stos, para determinar tendencias en las variables que se puedan interpretar buscando entender el comportamiento y as tomar decisiones que ms convengan. Buscando el filtrado y anlisis de los datos se utiliz R versin 3.6.1. Para los datos de precipitacin se us la suma de los valores diarios por mes y para las dems (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) los valores promedio. Se graficaron las variables por separado buscando

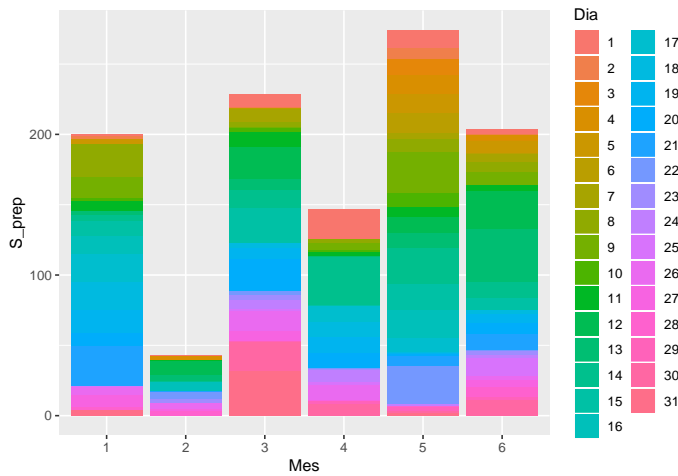


Fig. 2. Tendencia Diaria de precipitacin

propensiones para la descripcin de cada una de ellas, luego se buscaron relaciones estadsticas entre variables con el fin de determinar acaso alguna dependencia entre los datos. Con los datos de temperatura del sensor HOB0 se realiz un modelo Kriging ordinario de primer orden y transformacin logartmica en el software ArcGIS versin 10.5, esto con el fin de observar un comportamiento aproximado de la variable.

## RESULTADOS Y DISCUSIN

En la **Fig. 2** se puede observar la precipitacin mensual discriminada por la cantidad de precipitacin de cada da (representados en colores), en esta escala no se percibe todo el ciclo anual pero s la temporada de lluvias entre marzo, mayo y parte de una temporada seca a la que se debe la baja precipitacin en febrero, lo que responde al rgimen bimodal del pramo La Rusia. La precipitacin total de estos 6 meses suma  $1096.2mm$ , una precipitacin alta, caracterstica de las laderas orientadas al occidente, pues las laderas internas de los Andes estn altamente influenciadas por efectos de sombra y lluvia, para las lluvias que llegan tanto desde la cuenca del Amazonas como de la costa del Pacfico [?], [?].

En la **Fig.3**, se observa la variacin de la temperatura alrededor del promedio de los seis meses de  $9.2^{\circ}C$  con una temperatura mxima de  $19.5^{\circ}C$  y una mnima de  $1.6^{\circ}C$ , sin embargo la fluctuacin de mayor densidad se encuentra entre los  $8^{\circ}C$  y  $10^{\circ}C$ . La variacin diurna de la temperatura resulta del ciclo de insolacin superficial [?], [?], la cual es mayor entre las 11:00 a.m. y la 1:00 p.m. Debido a su localizacin cercana a la lnea ecuatorial, la radiacin solar diaria es casi constante todo el ao, esta constancia resulta en una baja variabilidad estacional en temperatura media del aire, en contraste con el ciclo diario, el cual es totalmente marcado [?], [?]. En la **Fig.4** se muestra la distribucin de la temperatura a lo largo del periodo de medicin. Es notable un comportamiento de los datos aproximadamente normal. De esto es posible deducir que los valores tienden a un valor medio, es decir, que generalmente los valores de temperatura estarn en el rango de  $9a10^{\circ}C$ , sin embargo hay

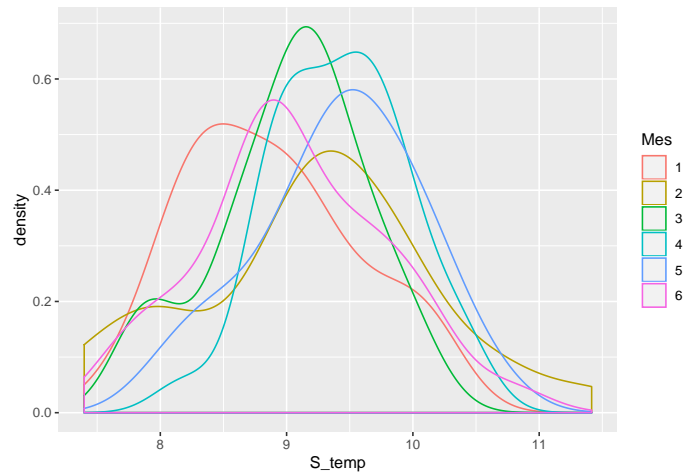


Fig. 3. Distribucin de la temperatura

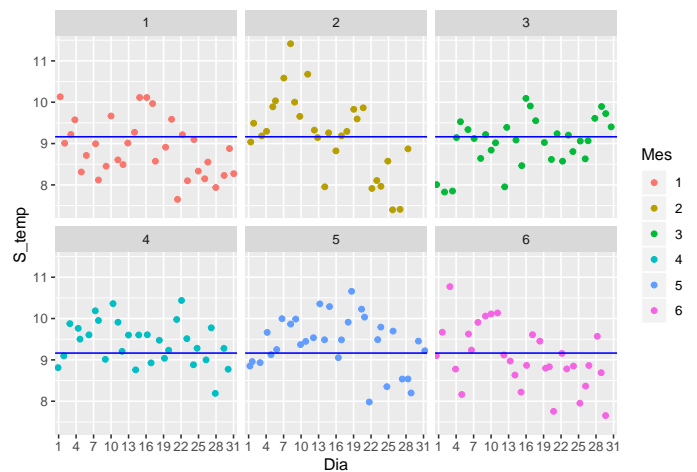


Fig. 4. Tendencia de la temperatura mensual

ocasiones como en el mes 1 en donde la variable tiende a un valor ms bajo de temperatura.

En la **Fig.5** se presenta la distribucin de la humedad relativa; sta es parecida a una grfica Fisher, sin embargo no tiene relacin con el caso pues no se est comparando poblaciones, ms bien parece haber la tendencia a que en el pramo haya una alta humedad relativa centrada en valores  $> 90\%$  lo cual es relacionable con la variable anterior pues se sabe que a mayor temperatura del aire hay mayor capacidad en retener humedad [?]. Se puede inferir entonces que la temperatura del pramo es fra solo con mirar su humedad relativa. ste comportamiento est presente en los datos pues hay un valor bajo de temperatura con un alto porcentaje de humedad.

En la **Fig.6** se muestra la distribucin de los datos para la velocidad del viento y se extrae que los valores medios oscilan entre  $50$  y  $100 \frac{m}{s}$ . ste parmetro es relacionado con la precipitacin pues si hay fuertes vientos, stos pueden desplazar las masas de aire hmedas disminuyendo la probabilidad del evento [?]. Por ejemplo, para el mes 2 que fue el que tuvo menor precipitacin, la velocidad del viento para esa fecha es

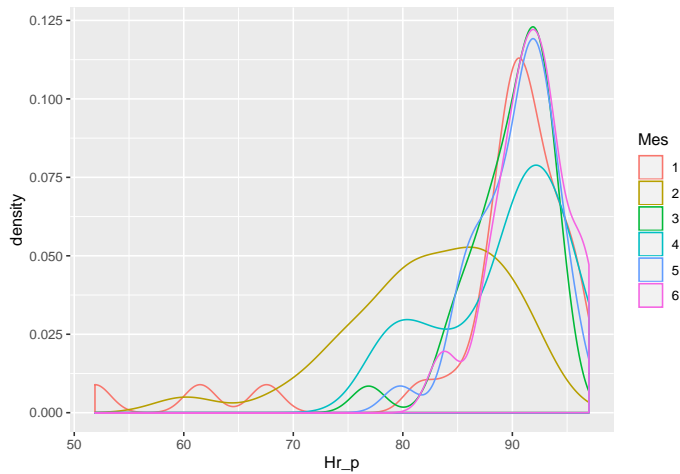


Fig. 5. Distribución de la Humedad relativa

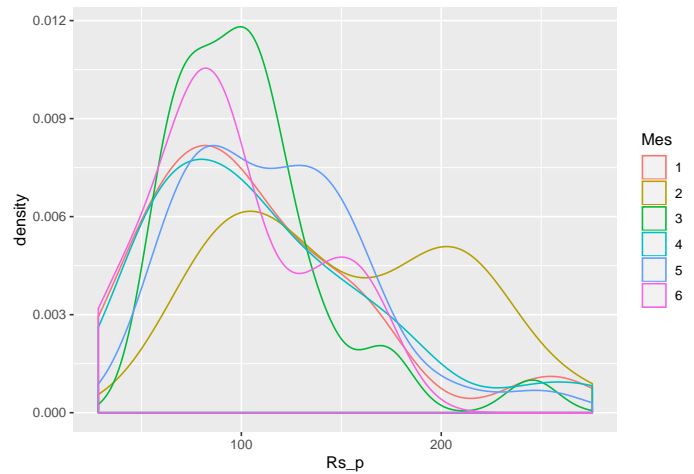


Fig. 7. Distribución de la radiación solar media

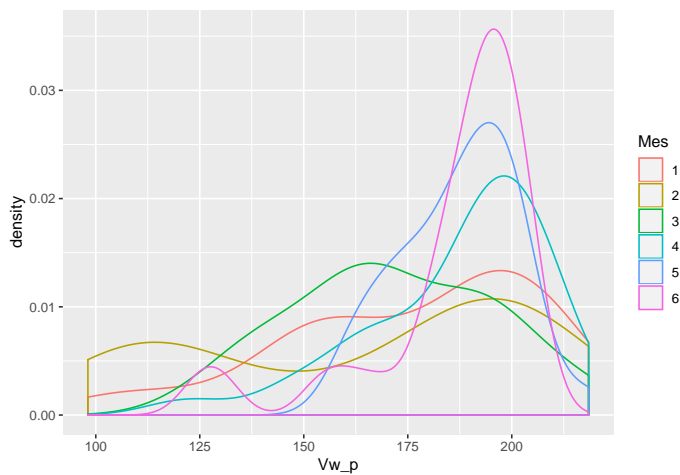


Fig. 6. Distribución de la velocidad del viento

variable, lo cual no explicara la baja precipitación en ese mes; sin embargo, al mirar la **Fig.7**, la distribución de la radiación solar, se puede ver como en la fecha, la incidencia de los rayos solares no fue constante lo que favoreció a su vez que la humedad relativa presentara los valores más pequeños en todo el registro. Las masas de aire entonces se calientan cuando hay una temperatura mayor debido a más radiación solar, estas ascienden y la velocidad del viento puede o no llevarlas a otro lugar controlando así la precipitación en el sitio [?].

En la **Fig.8** se puede observar la correlación para las distintas variables climáticas. Se encuentra una correlación positiva entre la precipitación y humedad relativa (0.38), esto puede darse ya que en pocas de lluvia la humedad relativa es constantemente alta y tiende a la saturación en los eventos de precipitación, además suele presentarse el fenómeno de niebla [?]. Relación que se puede corroborar en la **Fig.11** que muestra la relación entre precipitación y humedad relativa, que presenta una línea de tendencia con un aumento muy rápido en la humedad relativa mientras inicia la precipitación y luego se mantiene constante en el evento de lluvia tendiendo a la saturación del ambiente. Lo

mismo ocurre con las variables de radiación solar y temperatura que tienen una correlación positiva de 0.52, la cual puede ser el resultado del gran aumento de insolación solar y temperatura que se presenta a medio día en el pramo ya que se encuentra muy cerca de la línea ecuatorial y recibe una gran radiación diaria todo el año mientras se tenga un cielo despejado [?]. Esto se puede ver en la **Fig.10** que muestra la relación entre temperatura y radiación solar, donde la línea de tendencia muestra una relación directa en el aumento de la radiación y temperatura. Es el caso contrario cuando se analiza la correlación entre radiación solar y humedad relativa ( $-0.81$ ) o temperatura y humedad relativa ( $-0.25$ ), obteniendo valores negativos; esto se pudo evidenciar en campo, pues mientras la temperatura era más alta el aire se sentía mucho más seco, como se puede ver en la **Fig.9** que muestra la relación entre temperatura vs humedad relativa, donde la línea de tendencia disminuye a medida que la temperatura aumenta. La gráfica de dispersión ilustra un comportamiento inverso entre las dos variables con una línea de tendencia que en general es decreciente, a medida que comienza a ascender la temperatura la humedad relativa comienza a descender, lo que es normal pues a medida que el ambiente se torna más caliente, este se tornará más seco lo que en un pramo está sujeto a la estacionalidad, pues la humedad relativa es variable y estacional [?], así en pocas de lluvia habrá mayor humedad relativa que en pocas secas o de verano, la variación de este factor está estrechamente ligada a los fenómenos de niebla que en un pramo pueden presentarse con mayor o menor frecuencia dentro de un periodo de tiempo. En síntesis la gráfica no se sale del comportamiento general de estos dos parámetros climáticos (humedad relativa y temperatura), debido a que estos son normalmente inversos. Cabe destacar que la humedad relativa extrañamente baja a valores menores de 70% lo que es característico de estos ecosistemas. [?]

En la **Fig.10** se observa la relación entre la temperatura y la radiación solar para el pramo La Rusia, de la gráfica se deduce que estos dos parámetros son directamente proporcionales pues en la mayoría del tiempo a medida que la temperatura aumenta

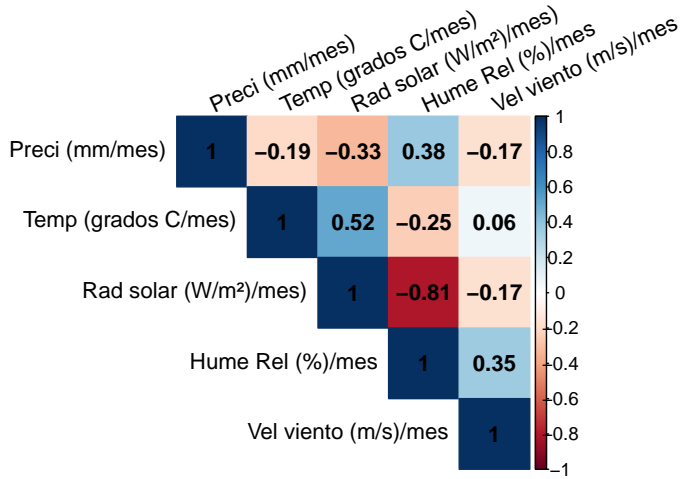


Fig. 8. Matrix de correlacin para las variables climticas

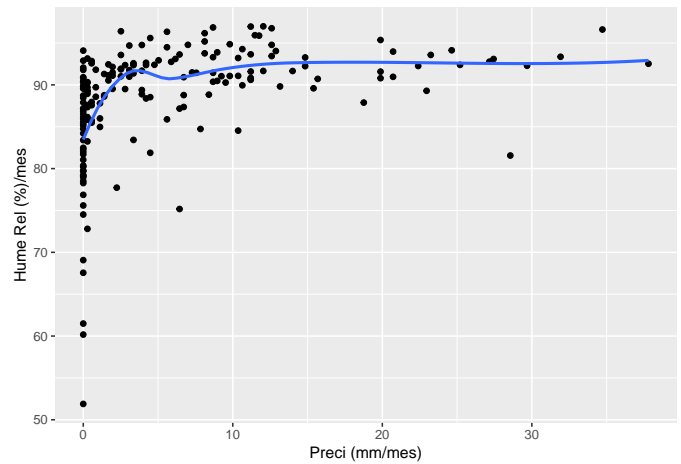


Fig. 11. Precipitacin vs Humedad relativa

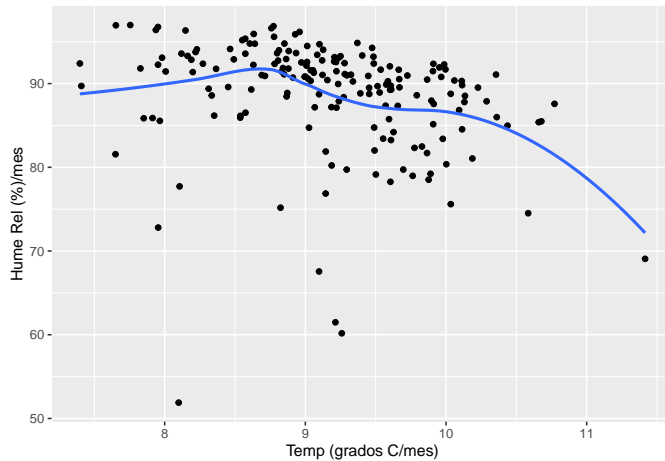


Fig. 9. Temperatura vs Humedad relativa

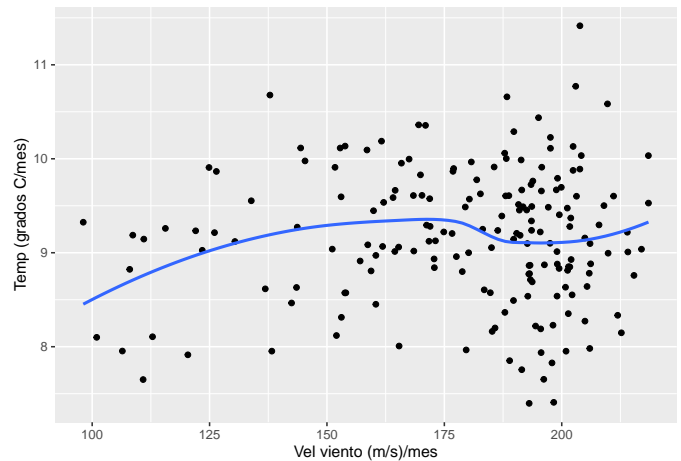


Fig. 12. Velocidad del viento vs Temperatura

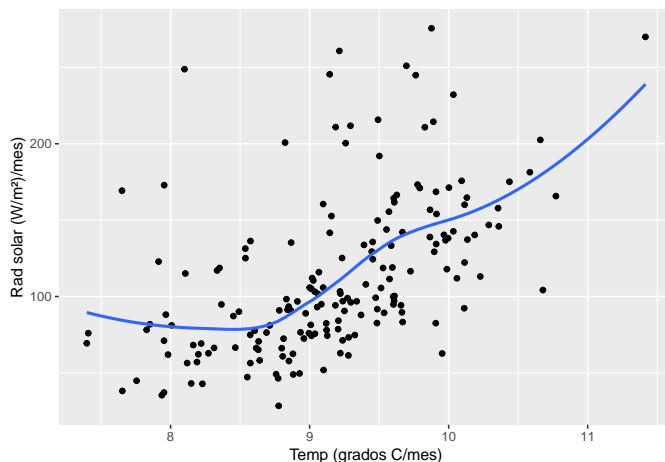


Fig. 10. Temperatura vs Radiacin solar

la radiacin solar comienza tambien a aumentar, y es que esto mientras se tengan las condiciones necesarias (como un cielo despejado) es normal en un pramo pues debido a su altitud y cercana con el ecuador la radiacin solar que reciben estos ecosistemas es alta mientras no haya nubosidad [?].

En la **Fig.12** se observa la distribucin empirica acumulada de la temperatura, es evidente notar que la probabilidad de encontrar temperaturas menores a 11°C es alta, lo contrario pasa con valores muy bajos del parmetro. Es poco probable encontrar valores cercanos a cero; de hecho los valores ms comunes se encuentran alrededor del rango de 8 a 11°C

En la **Fig.13** se muestra el modelo de temperatura construido a partir de los datos del sensor HOBO. Cabe la pena aclarar que ste es una aproximacin y no es un modelo que ajuste bien los datos. Es vlido decir esto dado la baja cantidad de puntos utilizados (8), son pocos, pues se tomaron las coordenadas de los instrumentos instalados. Se puede notar el gradiente mostrado en el mapa que sugiere la variabilidad de la temperatura en el pramo; los rangos mostrados difieren en aproximadamente 3°C. Al observar este comportamiento, se procedi a verificar si la altitud tena influencia sobre la

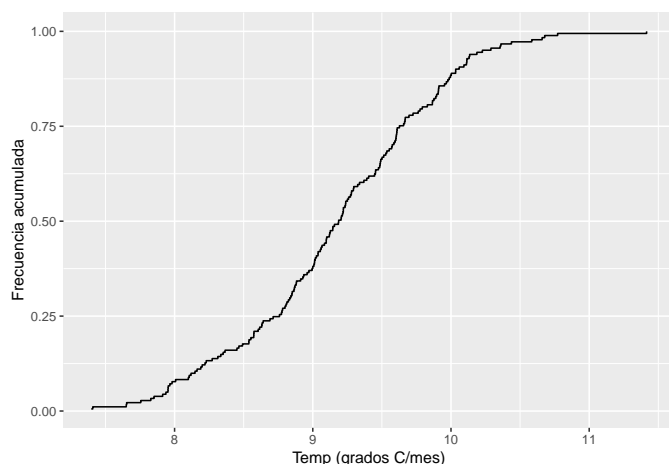


Fig. 13. Distribución empírica acumulada de temperatura

temperatura; lo esperado será que si la tuviera [?]. Para determinar la relación se hace un test de correlación arrojando un resultado de  $-0.46$  lo cual indica que mientras una variable aumenta la otra disminuye, sin embargo, el mismo valor en  $s$  deja en duda si es una relación lineal, pues se encontró un  $R^2$  de  $0.22$ , lo que demuestra que si bien hay una conexión entre los parámetros  $s$  puede fluctuar y no ser constante, es decir, pueden haber lugares altos pero con temperaturas más altas de lo normal; este comportamiento no sigue el descrito por [?] que afirma que la tasa de cambio, en promedio, de la temperatura con respecto a la altitud, está típicamente entre  $-0.6$  y  $-0.7^\circ\text{C}/100\text{ m}$  ascendidos debido a la disminución de temperatura causada por el desplazamiento de vientos cálidos desde zonas bajas que pierden calor al elevarse, esto viene acompañado de otros efectos secundarios [?] los cuales no serán tratados aquí.

### CONCLUSIONES

Las variables climáticas están íntimamente relacionadas, una depende de la otra como un ciclo que necesita de su entorno, las influencias pueden variar de manera positiva o negativa, es decir, que si una aumenta la otra disminuye o viceversa, es urgente entonces prestar atención a fenómenos como el cambio climático que modifica algunas variables del ambiente, esto repercute en el entorno alterando las fases naturales y llevando consigo la disminución de la calidad de vida para todos los seres vivos.

El clima en el páramo de La Rusia presenta la variabilidad esperada con su temperatura máxima de  $19.5^\circ\text{C}$  a mediodía y una mínima de  $1.6^\circ\text{C}$  en la madrugada, una humedad relativa constantemente alta a excepción del tiempo donde se tiene la temperatura más elevada, haciendo de este un páramo muy húmedo, que si se tiene una buena regeneración del ecosistema con unos suelos ricos en porosidad y aptos en infiltración, ayudado de la vegetación, puede ser muy importante para la captura de agua y alimentación de los acuíferos subterráneos y ríos, proporcionando así un buen rendimiento hídrico. Por lo tanto se hace necesario estudios más detallados para el entendimiento y conservación de estos ecosistemas, sobre todo

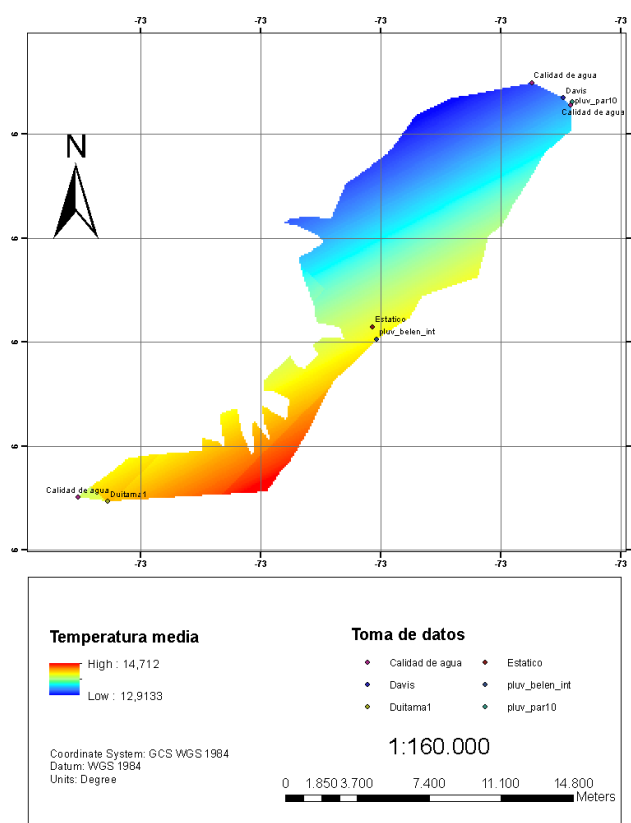


Fig. 14. Modelo de temperatura

en un país como Colombia que tiene la mitad de páramos del mundo.

En los datos analizados es posible notar la alta variabilidad de la precipitación en los Andes tropicales, el característico gradiente altitudinal de la precipitación y la temperatura y la formación de climas locales debidos a las barreras orográficas. Para tener una comprensión holística de esto es importante tener en cuenta y estudiar a profundidad la relación suelo-atmósfera-vegetación del clima tropical.

Se observó durante la práctica que el mayor impacto en estos páramos se da por el uso indiscriminado que se le ha dado, principalmente ganadera y agricultura lo que implica deforestación y degradación de suelos afectando no solo la disponibilidad de agua localmente sino también el reciclaje de la precipitación.

Los páramos son ecosistemas muy sensibles no solo por su papel eco-hidrológico sino también por la dependencia antrópica de estas fuentes para obtener agua de forma constante, a bajo costo y de calidad; aspectos que se ven afectados cuando se intervienen en mayor o menor grado. Por lo cual, es necesario realizar investigaciones sobre los impactos antrópicos y la relación de estos impactos con el cambio en las funciones en cuanto a rendimiento y regulación hídrica.