



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

**PATRONES AMBIENTALES DE TEMPERATURA Y
CAUDAL A LO LARGO DE LA GRADIENTE
LONGITUDINAL EN LOS RÍOS ATACAMES Y SÚA
EN EL PERIODO JULIO 2016 – JUNIO 2017**

**PREVIO AL GRADO ACADÉMICO DE TÍTULO DE
INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

AUTORA

LILIANA MONSERRATE MACÍAS MARÍN

ASESOR

MGT. PEDRO JIMÉNEZ PRADO

ESMERALDAS, AGOSTO 2019

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado el cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCE-SE previo a la obtención del título de “Ingeniera en Gestión Ambiental”

Presidente Tribunal de Graduación

Lector1

Mgt. Rubén Vinueza Chérrez

Lector2

PhD. Jon Molinero Ortiz

Mgt. Karla Solís Charcopa

Coordinadora de la Carrera de Gestión Ambiental

Mgt. Pedro Jiménez Prado

Director de Tesis

Esmeraldas....de.....2019

AUTORÍA

Yo, **Liliana Monserrate Macías Marín** con CI: 080284138-7, declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica de la autora y de la PUCESE.

Liliana Monserrate Macías Marín
C.I. 080284138-7

DEDICATORIA

Dedico la culminación de mi carrera universitaria primeramente a Dios por permitirme cumplir con este anhelo tan esperado, así mismo a mi madre Liana por ser madre y padre para mí, por su lucha constante y apoyo incondicional durante toda esta etapa de mi vida.

A mis abuelos Delfina y Eduardo quienes me han motivado para poder cumplir con los objetivos que me he propuesto.

A mis tíos Patricia, Juan Carlos, Javier, Irma, por su apoyo y motivación para no rendirme y luchar para conseguir lo que deseo.

A mi hijo Alexander, quien es mi motor para seguir adelante y no rendirme antes los obstáculos presentados, y de poder ser un ejemplo para ti a lo largo de tu vida.

A mi compañero de vida Adrián, quien me ha brindado su apoyo para continuar con mi carrera universitaria.

Así mismo a mis amigas y compañeros que han estado incondicionalmente conmigo en toda la etapa de mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las personas que me ayudaron a cumplir con el trabajo investigativo, de manera muy especial a mi profesor y asesor Pedro Jiménez y a mi lector Jon Molinero quienes han sido una guía importante para mi investigación, ya que, con su paciencia y apoyo incondicional, impartieron y brindaron sus experiencias, conocimientos y tutorías para la culminación exitosa de mi tesis.

También agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, por ayudarme y facilitarme las herramientas para mi formación profesional.

ÍNDICE

AUTORÍA.....	III
.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
Presentación del tema de investigación	1
Justificación	2
Objetivos	3
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
Bases Teórico-Científicas	4
Antecedentes:	6
Marco legal:	7
CAPITULO II: METODOLOGÍA.....	8
Área de estudio	8
Recolección de Datos.....	10
Análisis de Datos	11
CAPITULO III: RESULTADOS.....	14
CAPITULO IV: DISCUSIÓN	34
CAPITULO V: CONCLUSIONES	36
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	43
 DEDICATORIA	 IV

AGRADECIMIENTO	V
ABREVIATURAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABLAS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X

ABREVIATURAS

CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas

SENAGUA: Secretaria Nacional del Agua

ADN: Ácido Desoxirribonucleico

PMRC: Programa de Manejo de Recursos Costeros

MDT: Temperatura Media Diaria

MMI: Temperatura media diaria mínima

MMA: Temperatura media diaria máxima

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Puntos de muestreo del río Atacames y Súa.	10
Figura 2.- Datos de temperatura del agua, mínima, media, y máxima anual de la cuenca del río Atacames.	16
Figura 3.- Datos de temperatura del agua mínima, media, y máxima anual de la cuenca del río Súa.	18
Figura 4.- Datos de temperatura del aire mínima, media, y máxima anual del punto A1 y A10.	19
Figura 5.- Temperatura del aire diaria, semanal y mensual.	25
Figura 6.- Temperatura del agua diaria, semanal y mensual.	26
Figura 7.- Temperatura del agua VS Temperatura del aire diaria, semanal y mensual entre los ríos Atacames y Súa.	28
Figura 8.- Temperatura diaria, semanal y mensual entre los ríos Atacames y Súa.	29
Figura 9.- Temperatura del agua de Invierno vs. Verano, diaria, semanal y mensual. .	30
Figura 10.- Caudal del río Atacames y río Súa	31
Figura 11.- Relación de la temperatura del agua entre medidas a lo largo del gradiente y entre los ríos Atacames y Súa.	32
Figura 12.- Relación de la temperatura del agua en invierno y verano a lo largo del gradiente y entre los ríos Atacames y Súa.	33
Figura 13.- Análisis de ACP. Localización de las estaciones de muestreo en función de los dos componentes seleccionados en el ACP. Se muestran las estaciones de muestreo del río Súa en azul y las del río Atacames en rojo.	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.- Datos del área de la zona baja y alta del río Atacames.	20
---	----

Tabla 2.- Datos del área de la zona baja y alta del río Súa.	20
Tabla 3.- Calculo de caudal mensual del río Atacames.	20
Tabla 4.- Calculo de caudal mensual del río Súa.....	21
Tabla 5.- Ajuste del modelo de imputación a la serie modelada.	22
Tabla 6.- Ajuste del modelo de imputación a la serie de validación.	23
Tabla 7.- El RMSE de los valores imputados estimados a partir de la serie de validación.	23

RESUMEN

La temperatura es una variable meteorológica que posee una relación lineal con la altitud, es decir a mayor altura, menor será la temperatura, por ello se realizó el estudio sobre el cambio de temperatura a lo largo de la gradiente longitudinal de los ríos Atacames y Súa. En este caso se tomaron datos diarios de la temperatura tanto en los ríos Atacames como en el río Súa, desde julio de 2016 a junio de 2017. Por la presencia de vacíos de información, se utilizó un modelo matemático que permita llenar vacíos de información, para establecer medidas ambientales mínimas, máximas y promediadas diarias, semanales y mensuales. Los resultados obtenidos, demostraron que el modelo de la temperatura diaria expresó una alta bondad de ajuste a los datos de temperatura del agua, en la mayor parte de los sitios de estudio, también, que el río Atacames tiene temperaturas más altas en la zona media y baja con respecto al río Súa; que la variación en la temperatura del aire diaria es más fuerte que la temperatura diaria del agua; y que aunque en esta zona tropical la temperatura estacional no es muy fuerte ni marcada, si existen valores diferenciados entre el verano y el invierno. Finalmente, el caudal calculado para la cuenca del río Atacames es mayor al caudal calculado para la cuenca del río Súa.

ABSTRACT

Temperature is a meteorological variable that has a linear relationship with altitude, i.e., the higher the altitude, the lower the temperature, which is why a study was carried out on the change in temperature along the longitudinal gradient of the Atacames and Súa rivers. In this case, daily temperature data were taken in both the Atacames and Súa rivers, from July 2016 to June 2017. Due to the presence of information gaps, a mathematical model was used to fill information gaps in order to establish minimum, maximum and average daily, weekly and monthly environmental measures. The results obtained showed that the daily temperature model expressed a high goodness of adjustment to water temperature data, in most study sites, also that the Atacames River has higher temperatures in the middle and lower zone with respect to the Súa River; that the variation in daily environmental temperature is stronger than the daily water temperature; and that although in this tropical zone the seasonal temperature is not very strong or marked, if there are differentiable values between summer and winter. Finally, the flow calculated for the Atacames river basin is greater than the flow calculated for the Súa river basin.

INTRODUCCIÓN

Presentación del tema de investigación

Los ríos son ecosistemas que cumplen un papel importante para el ser humano, ya que en ella se asientan la mayoría de las actividades humanas, de igual forma sirven para enlazar las cuencas terrestres con la atmósfera y el mar, a través de los ríos se trasladan los sedimentos, sales y organismos. A nivel mundial existen diferentes tipos de ríos, que tienen sus propias características, además de una serie de patrones comunes los cuales establecen la distribución y exuberancia de comunidades biológicas, además del adecuado funcionamiento del ecosistema en relación a las comunidades y los factores ambientales (1).

Los ríos son ecosistemas dinámicos, complejos e integradores que tienen múltiples conexiones, longitudinales aguas arriba y aguas abajo, laterales con la cuenca hidrográfica y vegetación de ribera, verticales con las aguas subterráneas y la precipitación. No obstante, en el Ecuador, no existe aún una perspectiva clara sobre la importancia de este ecosistema, en lo referente a la legislación actual como es la Constitución del Ecuador, la Ley de Recursos Hídricos y además del Plan Nacional del Buen Vivir, regularizan estos cuerpos de agua en base a la demanda, es decir, como un recurso mas no como un ecosistema, que posee diversas funciones y además requiere ser indagado y conservado (2). Los ecosistemas fluviales son susceptibles a la contaminación, ya que esta se origina principalmente por actividades antrópicas que se realizan en las zonas aledañas a los cuerpos de agua, actividades como la agricultura, ganadería, entre otras, producen impactos en los cauces hídricos provocando un desequilibrio de las funciones ecológicas de estos cuerpos de agua (3).

La temperatura de un río es importante ya que ayuda a regular el metabolismo en los organismos, el aumento de este factor, en cierto límite permisible, influye en la estimulación de las tasas de producción primaria, al igual que en la respiración de heterótrofos y productores. Las altas temperaturas (efectos de aceleración) y las bajas temperaturas (limitación), se manifiestan a escala estacional en un mismo río, y también entre ríos de diferentes latitudes (1). Por otro lado, es imposible realizar una gestión

efectiva sobre el recurso agua, es decir lograr una integración entre aspectos ecológicos, sociales y/o económicos, sin abordar el tema de los caudales ambientales como herramienta de la gestión y el manejo de las cuencas (4).

El río Atacames recibe descargas directas de aguas servidas, residuos y desperdicios de actividades ganaderas; las cuales generan impacto al ecosistema hídrico del río. Por ello es necesario realizar un manejo sustentable del río Atacames, ya que posee una exuberante riqueza ecológica, evitando así cambios socio-ambientales (5).

Ante la situación de la cuenca del río Atacames y la cuenca del río Súa, es necesario realizar un estudio sobre el cambio de temperatura a lo largo de la gradiente longitudinal de los ríos antes mencionados, ya que como se dijo antes, estos elementos son importantes en la dinámica ecológica del cauce y, por lo tanto, entenderlos podría ser también un factor determinante en su apropiado manejo y gestión.

Justificación

El agua es un elemento fundamental para las actividades antrópicas y su deterioro se debe grandes impactos ambientales que este elemento recibe. Además, es un recurso limitado y vulnerable por lo que al no recibir un buen manejo provocaría una crisis a nivel mundial provocando así decrecimiento económico, enfermedades, conflictos de uso e impactos ambientales (6) .

Los cambios ambientales, como la temperatura, pueden ser críticos en los procesos reproductivos de algunas especies (7); por ello, cambios como el relacionado con el calentamiento global, tienen potencial de afectar la temperatura del agua y por lo tanto, entre otros, cambios en la descomposición de los detritos, es decir, determinante en la supervivencia de especies dependientes del mismo (8). La temperatura del agua cambia en relación al tiempo, del día a la noche y desde el verano hasta el invierno, pero a nivel regional, la variación temporal entre los sitios puede ser fuerte; por ende, la variación espacial entre sitios puntuales frecuentemente constituye la mayor proporción de variación global. El uso de tecnologías de sensores para medir las temperaturas de las corrientes se ha incrementado en las últimas décadas los cuales registran las mediciones en intervalos especificados por el usuario y crean series temporales de grabaciones, y a

partir del monitoreo de la temperatura se puede pronosticar tendencias similares en el monitoreo de otros constituyentes de la calidad del agua (9). Finalmente, entender las relaciones entre hábitat y caudal, permitiría comparar los efectos de la variación del caudal en diferentes partes del río, pudiendo además considerar las variaciones en forma y tamaño del canal, nos daría el sustento teórico para determinar estrategias eficientes de explotación del recurso agua, extracción para agricultura, recreación, entre otros. (10).

Objetivos

Objetivo General

Identificar los patrones de temperatura y caudal a lo largo del gradiente longitudinal de los ríos Atacames y Súa, desde julio del 2016 hasta junio del 2017, relacionando la temperatura del agua con la temperatura del aire.

Específicos

- Utilizar un modelo matemático eficiente que permita llenar vacíos de información en la base de datos ambientales existentes para los ríos Atacames y Súa entre julio de 2016 y junio de 2017.
- Sistematizar la base de datos resultante para establecer medidas ambientales mínimas, máximas y promediadas diarias, semanales y mensuales.
- Analizar patrones ambientales de correlación entre las mediciones a lo largo del gradiente y entre los ríos Atacames y Súa.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

Bases Teórico-Científicas

Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica es una unidad morfológica que se encuentra delimitada por una línea imaginaria denominada divisoria de aguas. Esta línea es el límite entre las cuencas hidrográficas contiguas de dos cursos de agua. A cada lado de la divisoria de aguas, las aguas precipitadas acaban siendo recogidas por el río principal de la cuenca respectiva (11).

División de la Cuenca

Dentro de la cuenca hidrográfica se distinguen tres sectores particulares como son la cuenca alta, media y baja, los cuales en función a las características del terreno del medio, influyen en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos (12).

Cuenca alta. _ que corresponde por lo general a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, las cuales se encuentran limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.

Cuenca media. _ es la parte donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.

Cuenca baja. _ es la parte donde el río desemboca ya sea a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales (12).

Perfil longitudinal

Los ríos son sistemas lineales cuyas características varían a lo largo de su longitud, por lo general el perfil longitudinal de un río es cóncavo, con una parte alta (pendiente), y que poco a poco se transforma en tramos continuamente menos inclinados al acercarse a la desembocadura. Otra de las características del río que guarda relación con esta progresión es que cuanto más pequeño es el gradiente, más finos serán los materiales del lecho y debido al aumento del caudal del río, su canal se ensancha continuamente desde el manantial hasta la desembocadura (13).

Clasificación de los Ríos

La clasificación de los ríos es:

Ríos jóvenes: se encuentran en los cauces de montaña, cuenta con pendientes altas, su sección transversal es en forma de “V”, por lo general son irregulares.

Ríos maduros: se encuentran en valles extensos, y sus pendientes son bajas, por lo general son ríos estables y la sección transversal tiene la capacidad de transportar sedimentos en todo su recorrido.

Ríos viejos: se encuentran en valles extensos y planos y donde su anchura será de 15 a 20 veces mayor que la de los meandros, las pendientes en este ríos son bajas y forman depósitos naturales de sedimentos (14).

Factores que influyen en la red hidrográfica

El relieve

El relieve es el factor principal que interviene en la disposición de los ríos que conforman una red hidrográfica, ya que de este factor dependerá la divisoria de aguas, también influye en el trazado de los cursos fluviales, y además en las características de cada río en lo que se refiere a su caudal y fuerza erosiva, ya que las zonas con fuertes pendientes provocan un descenso rápido del agua (15).

La vegetación

La vegetación es otro factor que influye en las características de un río, ya que, al haber una vegetación exuberante en las riberas, disminuirá el caudal del río, esto se debe a que las plantas absorben parte del agua. Además las raíces estancan la tierra por lo que la erosión va a disminuir por ello se la considera como un elemento importante para evitar riesgos de inundaciones(15).

El clima

El clima es un factor que tiene gran influencia, esto se debe a que las precipitaciones son las que determinan el caudal y sus variaciones a lo largo del año en los ríos, además el agua que alimenta los ríos y los acuíferos procede principalmente de las lluvias (16).

Caudales ambientales

El caudal es representado por el volumen de agua que fluye por unidad de tiempo en el canal principal de un río, cuyo valor puede ser muy variable en el tiempo y puede adquirir extremos que ocurren en eventos de inundación o de sequía. Así mismo el caudal influye en las actividades humanas, perturbando la disponibilidad de agua para riego, potabilización, navegación, recreación, entre otros usos (4).

El caudal ambiental establece que cantidad del régimen hidrológico natural de un río habría de seguir fluyendo aguas abajo y hacia la planicie de inundación para poder conservar los bienes característicos del ecosistema. Por lo tanto para hacer un uso controlado de los recursos hídricos y del deterioro del ecosistema acuático se hace uso de los caudales ambientales como instrumento para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (4).

Antecedentes:

A nivel mundial, la temperatura no ha recibido mucha atención, más que otras facetas como la calidad del agua, pero en los últimos años se ha observado un gran interés hacia el comportamiento térmico de los ríos. Así mismo los avances tecnológicos han ayudado al cálculo y el seguimiento de las temperaturas de los ríos y arroyos (17).

Dentro de las investigaciones que se centran en el área de estudio se encuentra el trabajo realizado por el Programa de Manejo de Recursos Costeros (PMRC), en el año de 1993 en el Ecuador, que se basó en el estudio de Calidad de Agua Costera Ecuatoriana, el cual indica que el río Atacames acoge descargas directas de aguas servidas, además de residuos y desperdicios que resultan de las actividades agrícolas y ganaderas que se realizan en la ciudad. El mismo estudio indica que la temperatura en el área de estudio fluctúa entre 26°C y 27.6°C, observándose valores menores en aguas interiores del río y un aumento ligero hacia la desembocadura del mismo, por lo que se considera que estos rangos son normales para este lugar y la época (5). En el año 2012 la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas (PUCESE), realizó un estudio en el río Atacames denominado “Contaminación del río Atacames y su impacto en la comunidad de peces”, en el cual se obtuvo como resultado una diversidad biológica media de 1,4 a través del

índice de Shannon, por lo que se consideró que podría existir un grado de alteración en este cauce (18).

Por otra parte tenemos en España estudios realizados por científicos del Instituto de Ciencias del Mar del CSIC, determinaron que el aumento de temperatura de sólo 2°C durante los primeros estadios de desarrollo de peces, pueden producir alteraciones de la metilación del ADN, y por lo tanto cambios en los genes, los cuales son claves para la supervivencia, desarrollo y crecimiento de los peces (19).

Estudios realizados por Stefan y Preud'homme indican, que existe un atraso creciente entre la temperatura del agua y la temperatura del aire, con un aumento de la descarga media anual y cambios en la pendiente de las aguas (20). Por otro lado, Webb et al. (2008), indican que la temperatura del agua se relaciona con la temperatura del aire como un sustituto del intercambio neto de calor, así mismo que la potencia y sensibilidad de la relación agua-aire aumenta a medida que el promedio de datos aumenta de una escala diaria a una mensual, excepto en la escala anual donde esta tendencia cambia.

En relación a los caudales, un estudio realizado por Erazo et al. (2015), menciona que para poder determinar el caudal de un río, en cuencas con poca información, se aplica el método racional el cual se hace uso del coeficiente de escorrentía, ya que este reúne de manera general, todas las características físicas de la cuenca a estudiar (21). En una publicación de SENAGUA (2009) menciona que en la cuenca del Atacames existe una disponibilidad per cápita de aproximadamente $(48,48 \text{ m}^3/\text{año}/\text{Km}^2)/\text{hab.}$; es decir que calculan existe unos 887.4 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ (22).

Marco legal:

Las bases legales de este proyecto se encuentran respaldadas, por la Constitución del Ecuador (2008), en donde se destaca el Art 14, resalta los derechos a la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizando los derechos del buen vivir. También tenemos los Art. 411 y Art. 412, donde establece que el Estado debe garantizar la conservación, recuperación y manejo de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudal ecológico y sobre todo regular toda actividad que pueda afectar a la calidad del agua. En los Art. 413 y Art. 415, establece que el Estado debe y asume la obligación de promover al desarrollo y el uso de prácticas y tecnologías limpias que garanticen el cuidado de los ecosistemas y promover el uso racional del agua (23).

Por otra parte, en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, en el Art. 8 menciona que la única autoridad del agua (SENAGUA) es la que se encargará de la demarcación de las cuencas hidrográficas la cual servirá para el conocimiento de la unidad territorial. Además la cuenca hidrográfica será delimitada por la línea divisoria y dentro de la misma se delimitarán aspectos relacionados a la infraestructura, áreas de conservación, protección y zonas productivas para que se dé una buena gestión integral de los recursos hídricos (24). Al mismo tiempo en el Acuerdo Ministerial N° 028, en el Art. 211 Sobre El Control Y Seguimiento Ambiental, establece que se debe dar un debido control y seguimientos a los componentes bióticos, para comprobar y valorar la calidad ambiental de los cursos de agua e identificar las posibles alteraciones al mismo.

CAPITULO II: METODOLOGÍA

Área de estudio

El caudal hídrico de la provincia de Esmeraldas se sostiene del bosque tropical húmedo y de los ríos descendientes de la Cordillera Occidental de los Andes, lo que forma 19 cuencas hidrográficas: río Mira, río Mataje, río Cayapas, estero Vainilla, estero Lagarto, río Ostiones, río Mate, río Rioverde, río Colope, estero Camarones, río Esmeraldas, río Atacames, río Súa, río Tonchigüe, estero Galera, río San Francisco, río Bunche, río Muisne y río Bazar. Los principales problemas asociados a la provincia de Esmeraldas son el cambio de uso de suelo, la deforestación, la contaminación, el crecimiento urbano y la minería, vinculados a actividades económicas como la producción agropecuaria, la

explotación forestal, las actividades petroleras, el turismo y la extracción de materias primas, entre otras (25).

El presente estudio se realizó en dos pequeñas cuencas, los ríos Atacames y Súa, que se encuentran juntas, pertenecen al cantón Atacames y se encuentran ubicadas en la provincia de Esmeraldas. Sus límites son al Norte con el Océano Pacífico, al Sur con la parroquia Carlos Concha y el cantón Muisne, al este con el Cantón Esmeraldas, las parroquias de Vuelta Larga y Tabiazo, al oeste con las parroquias de San Francisco y Galera del cantón Muisne, al noreste con la parroquia de Tonsupa y al suroeste con Súa (26) (Fig.1). Los puntos de muestreo en los ríos Atacames y Súa están tomados tanto en la zona baja, como en la zona media y en la zona alta en cada uno de los cauces.

La cuenca del río Atacames tiene aproximadamente 300 km² y es drenada por el río Atacames. La parte alta de este río forma parte de la Reserva Ecológica Mache Chindul y cuenta con suelos de alta calidad. La cuenca junto a la del río Súa es la más seca de la zona (5).

Aunque el río Súa es de menor extensión que el río Atacames, sus características fluviales son similares. Se encuentran separados por la divisoria de aguas a una altitud de 220 a 240 msnm; aunque la extensión de la cuenca es muy diferente, la longitud de sus cauces principales está entre los 28km en la cuenca del río Súa y 41 km en la cuenca del río Atacames desde el nacimiento hasta la desembocadura en el mar; de igual forma se manifiesta su pendiente, donde sus diferencias fluctúan entre 0,49 y 0,74% tanto para el río Súa como para el río Atacames. Sin embargo, los usos que se están dando a las cuencas son diferentes, en el caso del Súa principalmente para usos agrícolas y domésticos, mientras que en el Atacames hay mayor uso agrícola y ganadero (26).

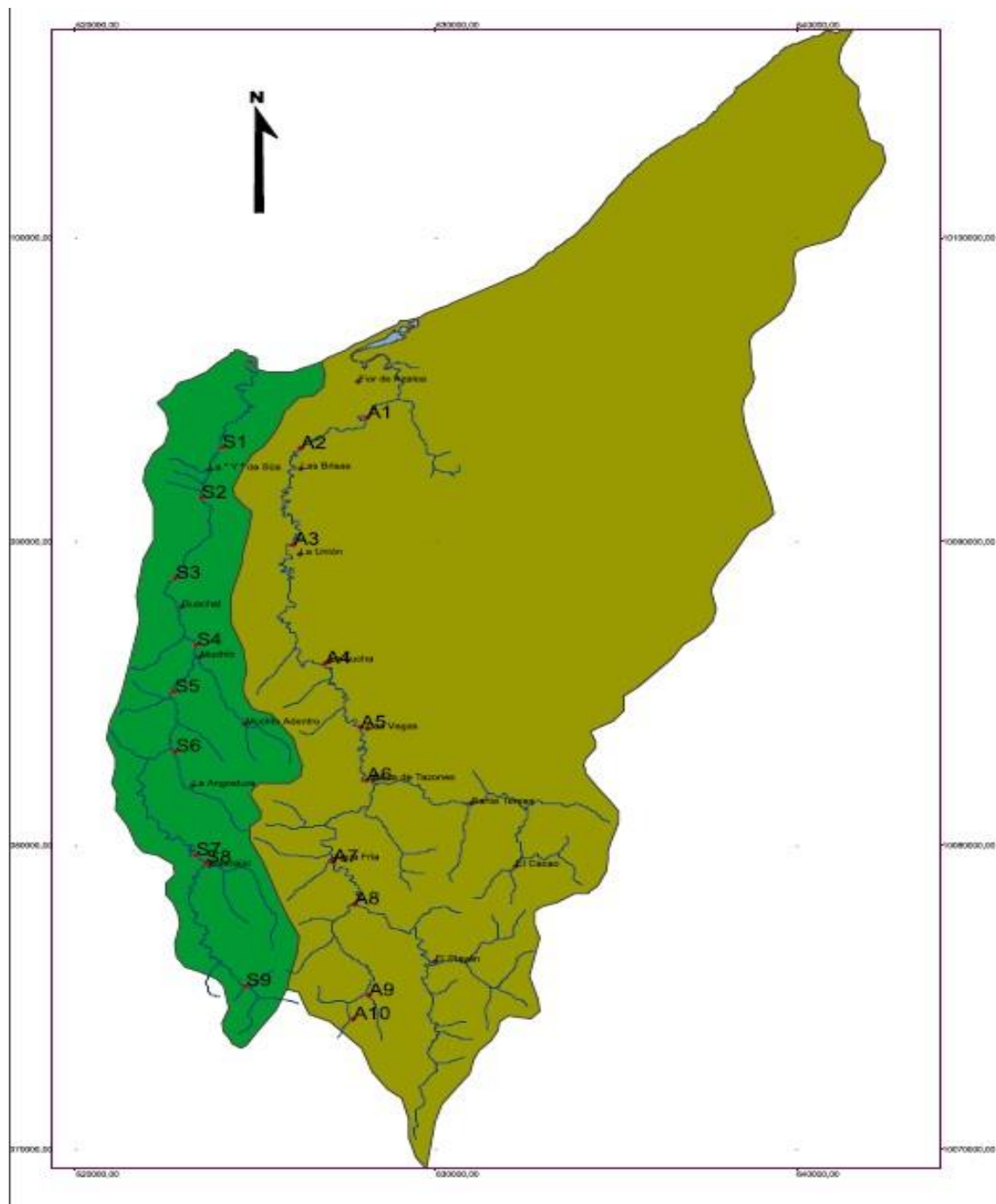


Figura 1.- Puntos de muestreo del río Atacames y Súa.

Recolección de Datos

Durante el periodo de julio de 2016 a julio de 2017 se levantó información de la temperatura del agua con la ayuda de termómetros digitales SmartButton que fueron programados para registrar medidas cada hora y fueron puestos en el agua desde la parte

alta hasta la parte baja de cada río. Se instalaron un total de 5 dispositivos en cada río, dos en la parte baja, dos en la parte media y uno en la parte alta. La capacidad de registro de los datos duraba dos meses, por lo que cada dos meses se procedía al recambio de cada dispositivo; si por alguna razón se extraviaba alguno, eran reemplazados para la toma de datos del siguiente bimestre. La pérdida de un dispositivo significaba también la pérdida de información de ese periodo, lo cual generaba vacíos de información. Por otro lado, para los mismos periodos, se montaron dos pluviómetros: uno en la parte alta y otro en la parte baja, que medía y registraba datos diariamente; cerca a estos dos pluviómetros se instaló también un SmartButton para medir la temperatura del aire.

Finalmente se midieron los caudales en 10 puntos longitudinales del Atacames y 9 del Súa, durante tres campañas (primer semestre), quedando incompletos los siguientes seis meses del periodo enero-junio del 2017. Los datos colectados se tomaron midiendo el ancho del río, tomando su profundidad cada 20 o 50 cm y en cada uno de esos tramos se midió la velocidad del cauce con un flújómetro.

Análisis de Datos

Utilización de un modelo matemático que permita llenar vacíos de información en la base de datos existente.

Con la pérdida de dispositivos se generaban vacíos de información, por lo que se procedió a calcular la temperatura mínima, media y máxima diaria de los datos existentes, de los cinco puntos seleccionados en la cuenca del río Atacames y los cinco puntos de la cuenca del río Súa. Así mismo se lo realizó para los datos de la temperatura del aire (aire), del punto A1 y A10 respectivamente.

Luego se procedió a realizar regresiones lineales entre la temperatura del agua y del aire, para lo cual se utilizó la ecuación lineal que relaciona la temperatura del agua (río), con la temperatura del aire como referencia.

$$Tw(t) = A + B_{\alpha}(t)$$

Donde $Tw(t)$ es la temperatura del agua en un determinado tiempo ($^{\circ}\text{C}$), mientras que las constantes A y B_{α} son el resultado de la regresión lineal de mínimos cuadrados y t es una serie suavizada de datos de temperatura del aire. Concretamente, se discuten los factores y parámetros que influyen en A y B en la correlación aire / temperatura del agua (27). A través de esta ecuación se espera una relación básica entre las temperaturas del aire y del agua, donde se pueda demostrar que la temperatura del aire puede ser un buen indicador de la temperatura del agua en muchas secuencias, especialmente a escalas diarias en donde:

a = está relacionada con la diferencia en la altitud. **b** = es una medida de variación entre la temperatura del agua y la temperatura del aire. **alfa** = es el ajuste del modelo es decir el número de días que influyen en la temperatura del agua con respecto a la temperatura del aire de los días anteriores.

R² = es el que reproduce el cumplimiento del modelo es decir el % de variabilidad de la temperatura del agua, y mientras los valores sean altos el modelo si funciona.

RMSE = es una medida del error que comete el modelo al momento estimar la temperatura del agua.

F test = es el significado estadísticamente.

Entre los factores que tienen un mayor impacto sobre la relación lineal de temperatura del aire / agua son la escala de tiempo, los límites y flujos de la corriente hidrológica y el clima regional (27). Para obtener la relación lineal de temperatura del aire / agua, diaria, semanal, mensual y anual se utilizó la siguiente ecuación es decir un filtro exponencial para ajustar la variabilidad de la temperatura del aire a la del agua:

$$f(tw) = \alpha T^{\circ}dia + (1-\alpha)f(T^{\circ}dia)$$

Esto se realizó con la ayuda del programa Scilab, la cual es una herramienta que ayuda al cálculo de las medias, máximas y mínimas de temperaturas necesarios para esta investigación.

Finalmente se obtuvo la base de datos completa de las temperaturas medias diarias, de las cinco estaciones de la cuenca del río Atacames y las cinco estaciones de la cuenca del río Súa, para proceder a calcular los promedios semanales y mensuales de cada punto, y luego se lo realizó a nivel de la zona es decir uniendo los promedios de la cuenca del río Atacames con los del río Súa, en una serie temporal.

El procedimiento para analizar y completar vacíos de información en los datos de caudales del río Atacames y Súa se realizó mediante el uso del método Racional para determinación de caudales en cuencas con poca información hidrológica, el cual consiste en buscar una cuenca cercana con características similares, en este caso se escogió la cuenca del río Teaone la cual posee un área de 504,89 km² (28), y de donde se sacarán los datos de caudal (máximos, medios y mínimos) y periodos de precipitación de la misma, con igual fecha calendario al periodo que se quiere predecir (29).

Se utilizaron datos disponibles de los Caudales Medios (m³/seg) del río Teaone y se los convirtió en mm, para calcular el porcentaje de escorrentía mensual, y eso se lo aplico a la cuenca del río Atacames y Súa. Debido que cada río tenía una estación meteorológica una en la parte de arriba y otra abajo, se delimito lo que era cuenca alta y cuenca baja en el río Atacames (tabla 1) y en el río Súa (tabla 2), para calcular el área de cada una y se les aplico un valor de precipitación para calcular la precipitación total de la cuenca que, al ser multiplicada por el coeficiente de escorrentía, dará como resultado el caudal mensual de cada río (tabla 3 y 4).

Análisis de patrones ambientales de correlación entre las mediciones a lo largo del gradiente y entre los ríos Atacames y Súa.

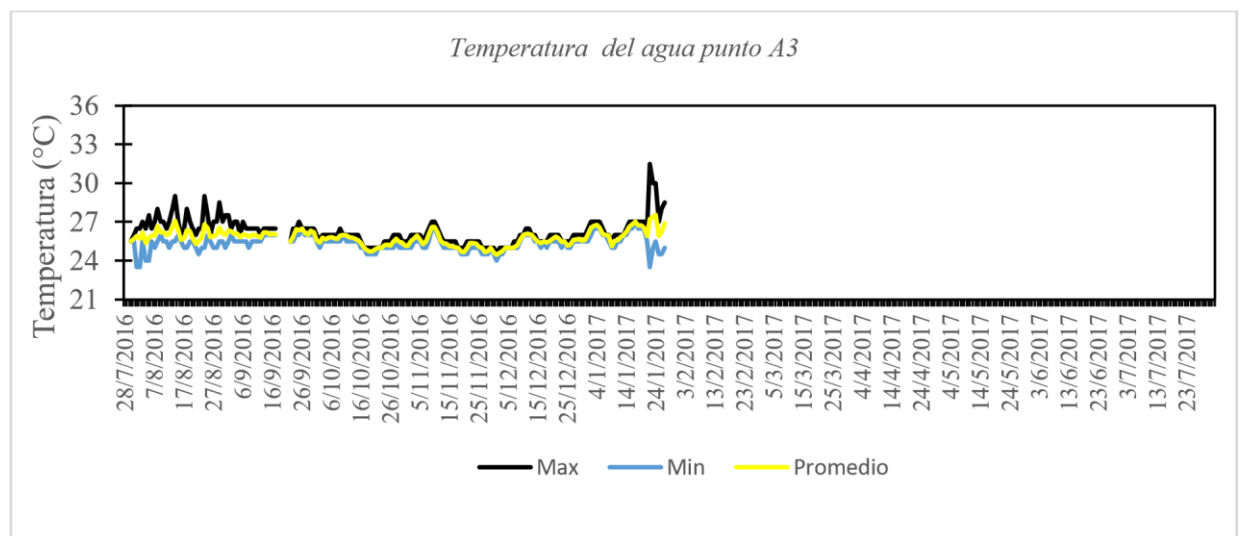
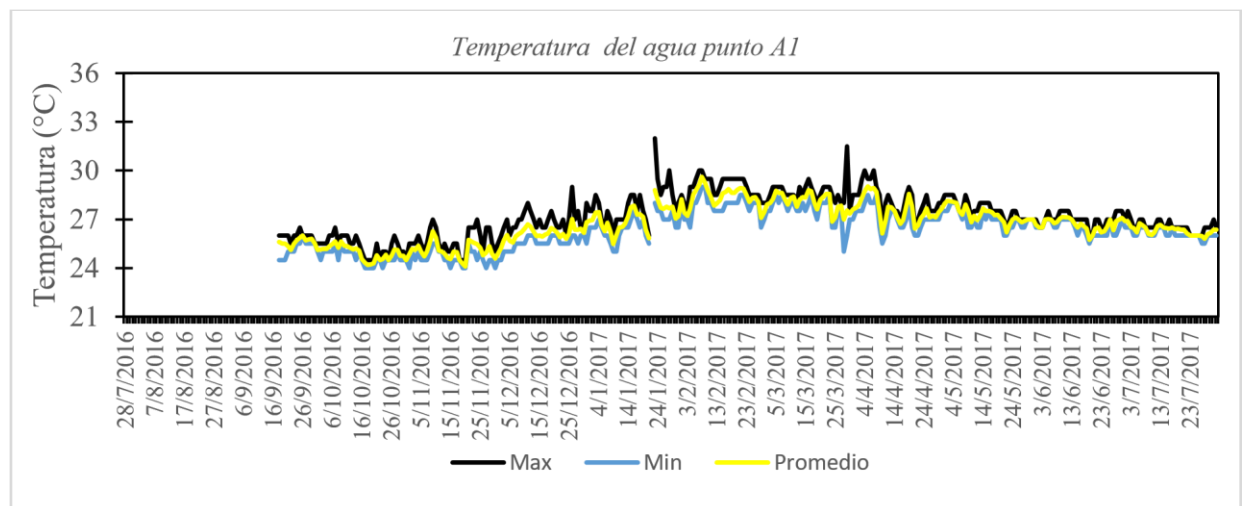
La base de datos generada se ordenó para calcular diferentes métricas: la temperatura media diaria (TMD), la temperatura media diaria mínima y máxima (MMI y MMA), la temperatura media de Verano e Invierno (TMV y TMI), la temperatura media mínima y máxima de verano (MMIV y MMAV) e invierno (MMII y MMAI) el rango de temperatura media diaria (RMD), el rango de temperatura media de invierno y verano (RMV y RMI), ver anexo 1. Todas estas métricas más las variables obtenidas en el modelo fueron incluidas en un análisis de componentes principales (PCA), así las diferentes zonas de estudio serán clasificadas en clases térmicas basadas en su posición en el PCA, y serán definidas estableciendo umbrales para aquellas métricas de temperatura que tengan alta

correlación con los ejes del PCA. Finalmente, se realizará un análisis de la varianza de una vía para determinar las diferencias entre las clases térmicas con la finalidad de establecer si existen diferencias en los patrones de temperatura entre zonas altitudinales y entre los ríos Atacames y Súa.

CAPITULO III: RESULTADOS

Utilización de un modelo matemático que permita llenar vacíos de información en la base de datos existente.

Debido a que existían vacíos de información se procedió a graficar los datos de temperatura del agua y ambiental existente, de cada punto de muestreo en la cuenca del río Atacames y la cuenca del río Súa, obteniendo los siguientes gráficos.



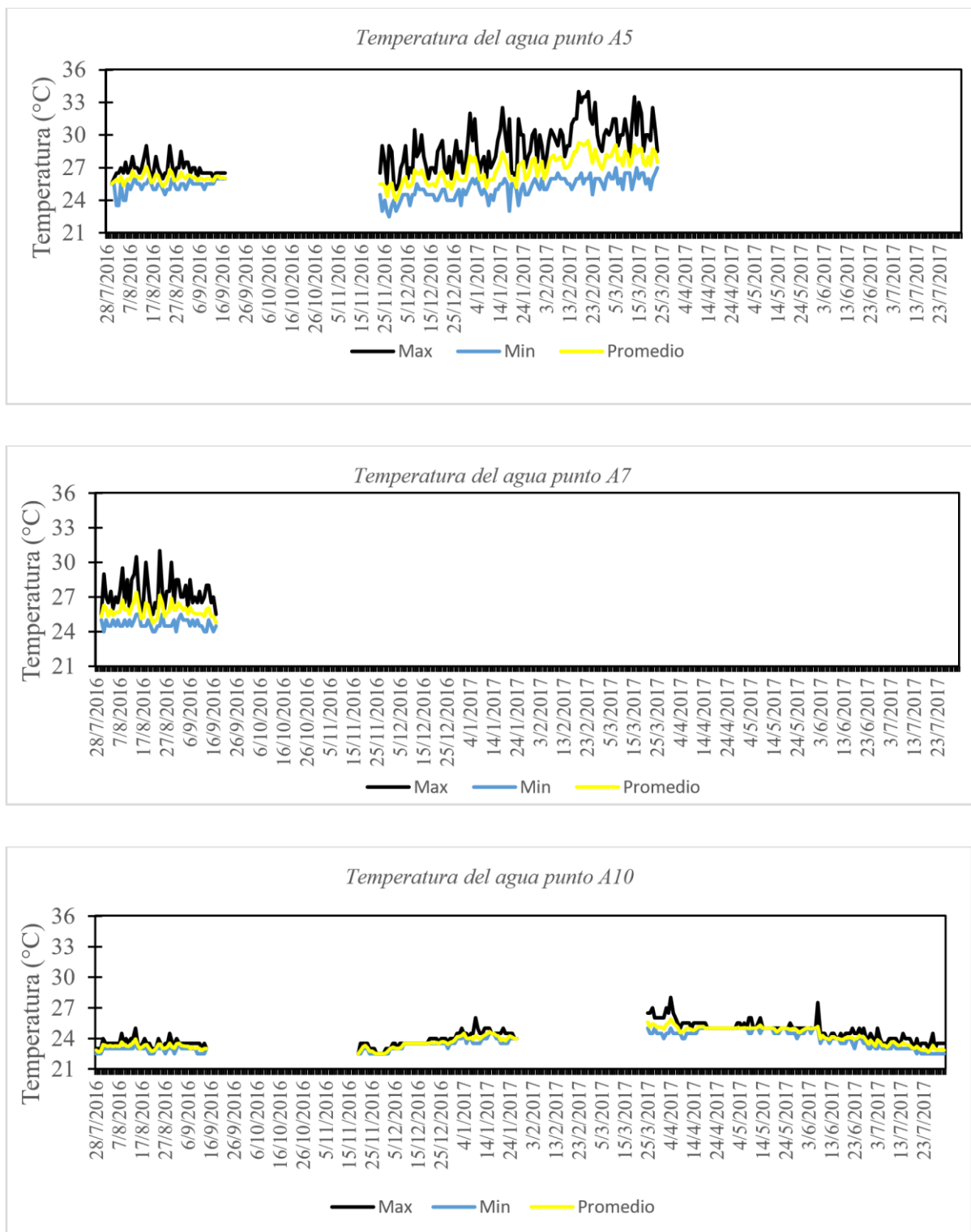
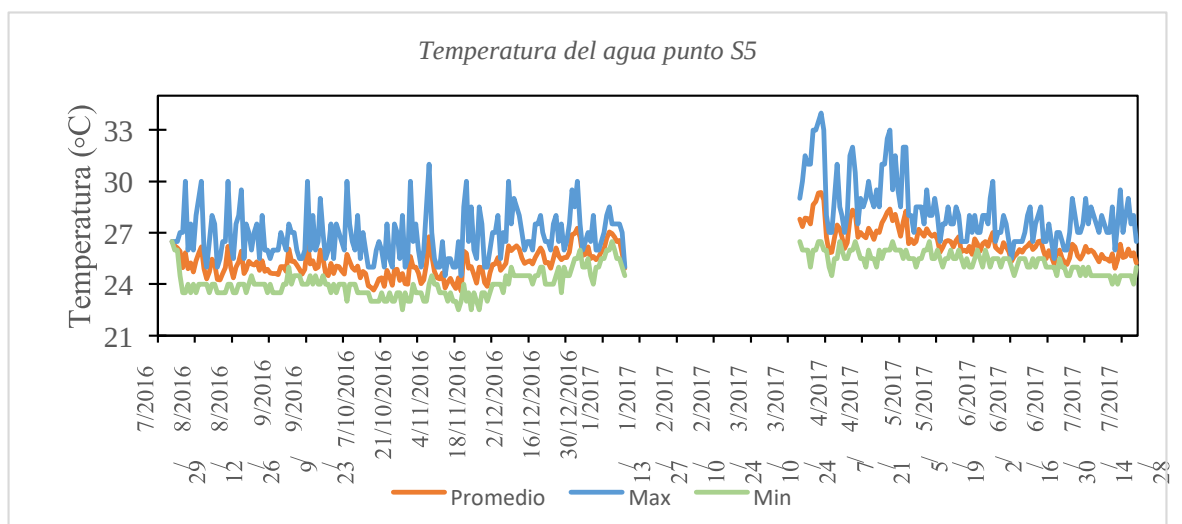
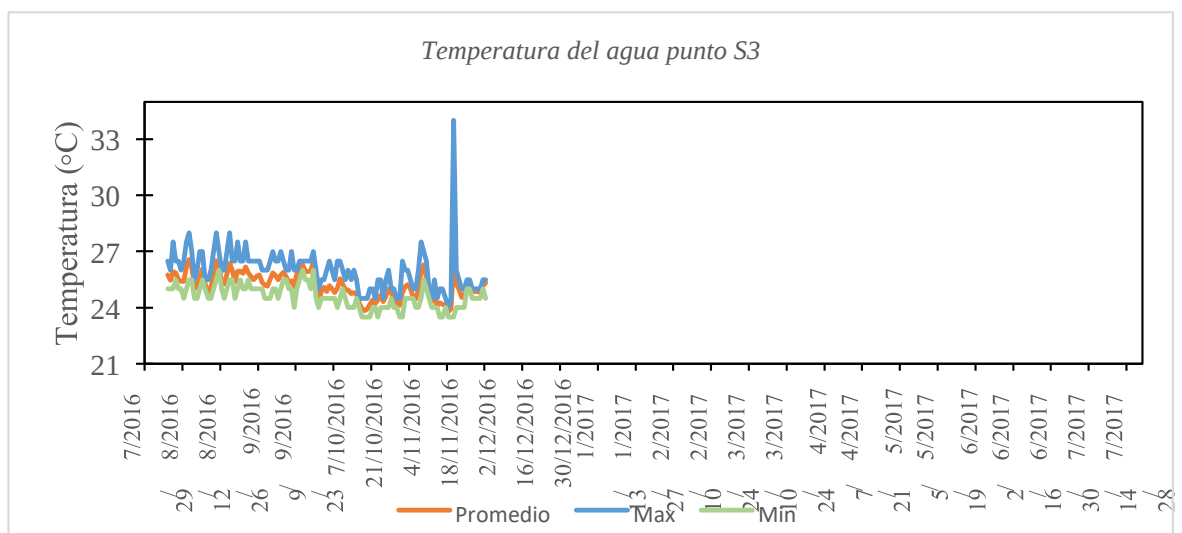
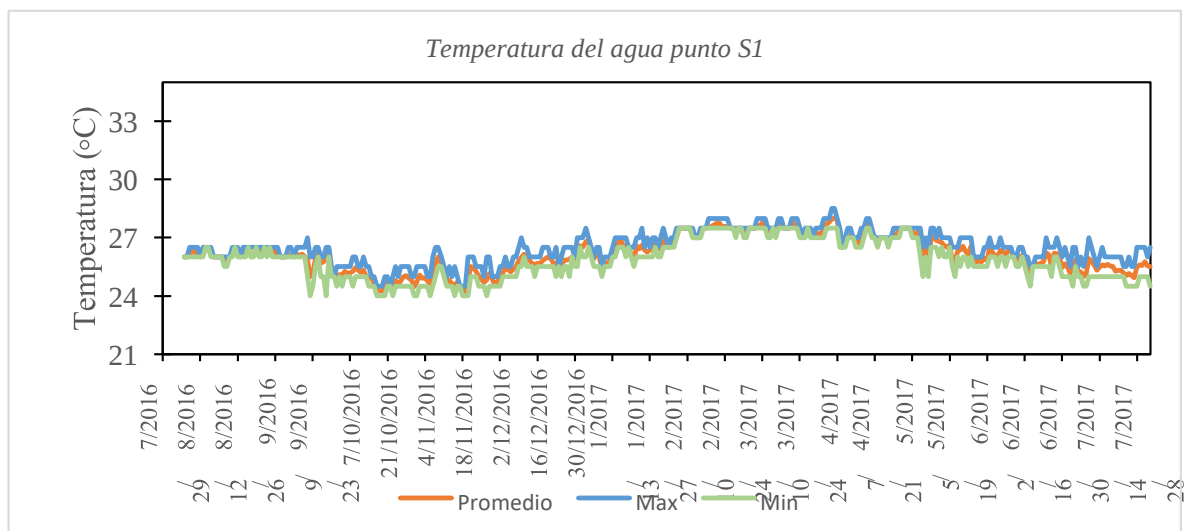


Figura 2.- Datos de temperatura del agua, mínima, media, y máxima anua, de la cuenca del río Atacames. En la Fig.2 se puede observar que todos los datos de los puntos de la cuenca del río Atacames se encuentra incompletos, donde los rangos de temperatura fluctuaron entre los 24°C a 34°C respectivamente especialmente en el punto A5, en el punto A10 se puede observar una gran diferencia ya que la temperatura no varía mucho y va desde 22° a 27°C.



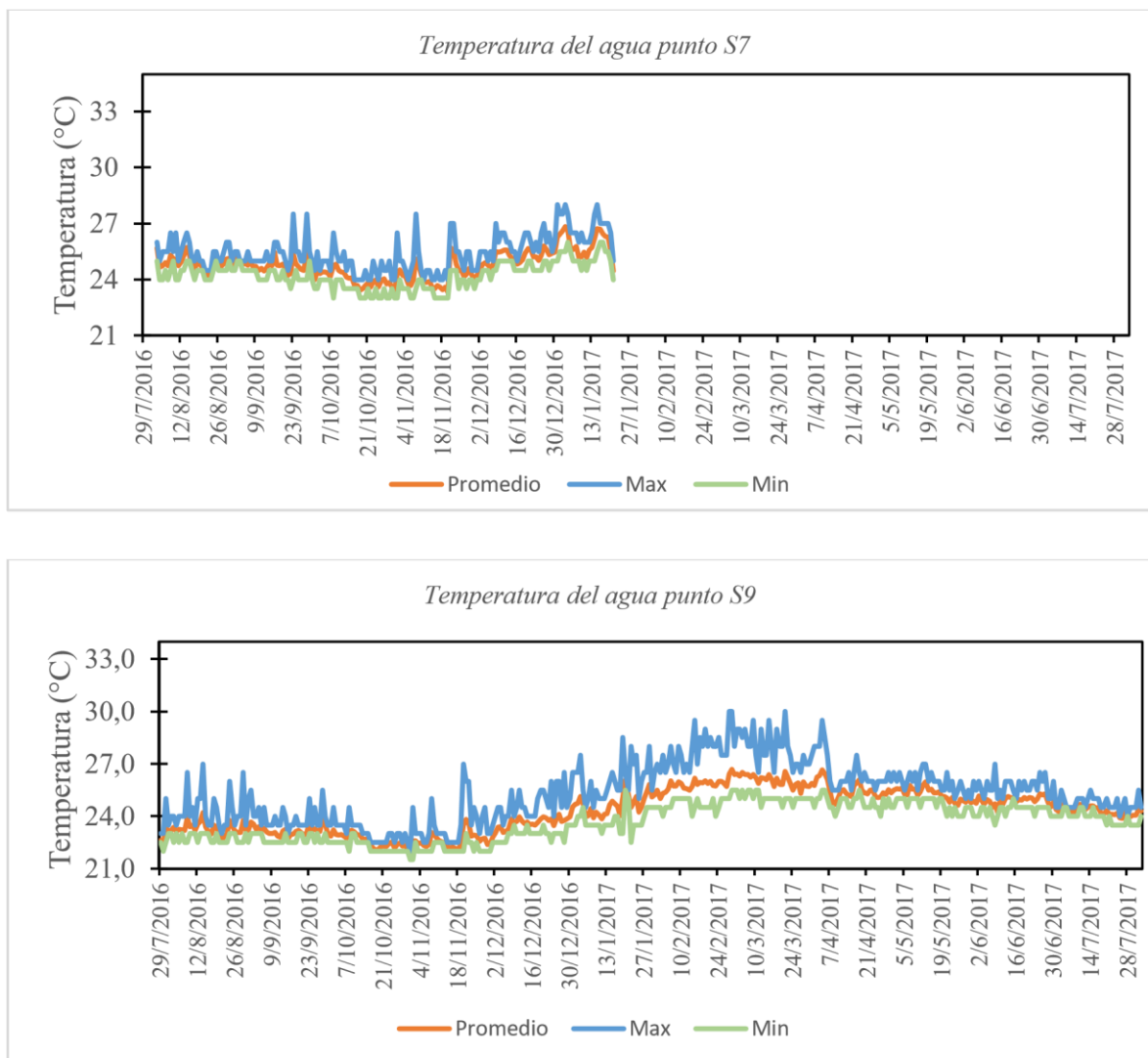


Figura 3.- Datos de temperatura del agua mínima, media, y máxima anual de la cuenca del río Súa. En la Fig.3 se puede observar que solo el punto S9 de la cuenca del río Súa, tiene los datos de temperatura completos lo que servirá para la imputación de datos, además este punto posee rangos de temperatura que fluctúan de 22°C a 34°C respectivamente especialmente en el punto S5, en el punto S1 se puede observar una gran diferencia ya que la temperatura no varía mucho y va desde 24° a 28°C.

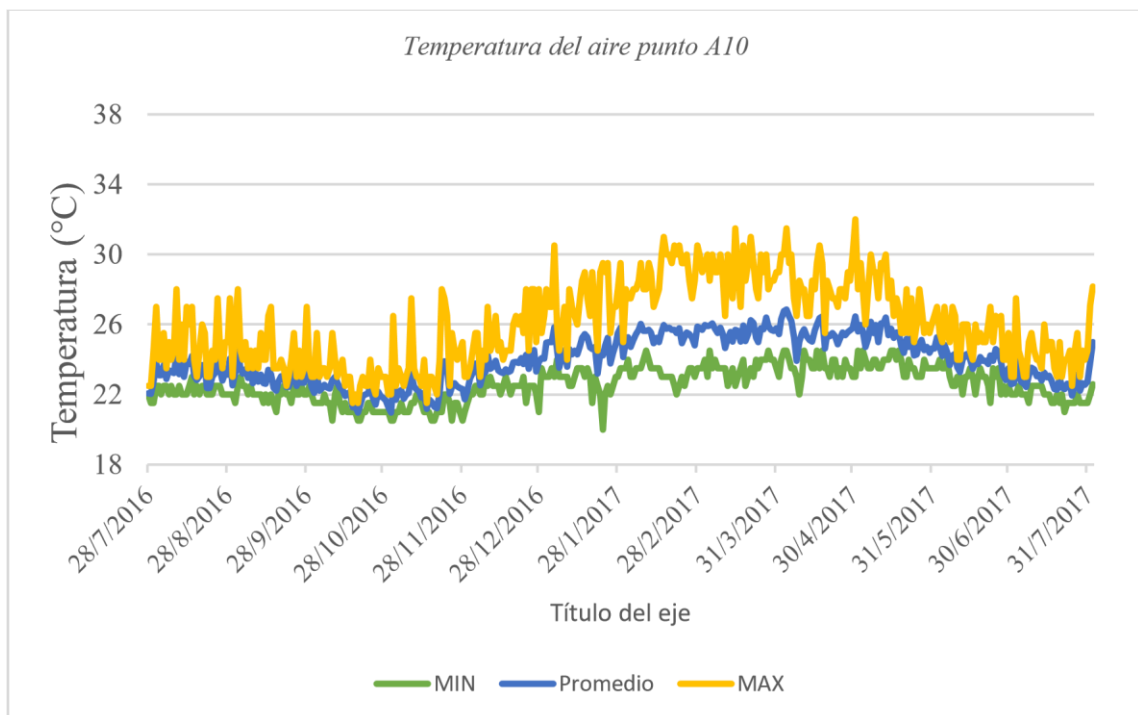
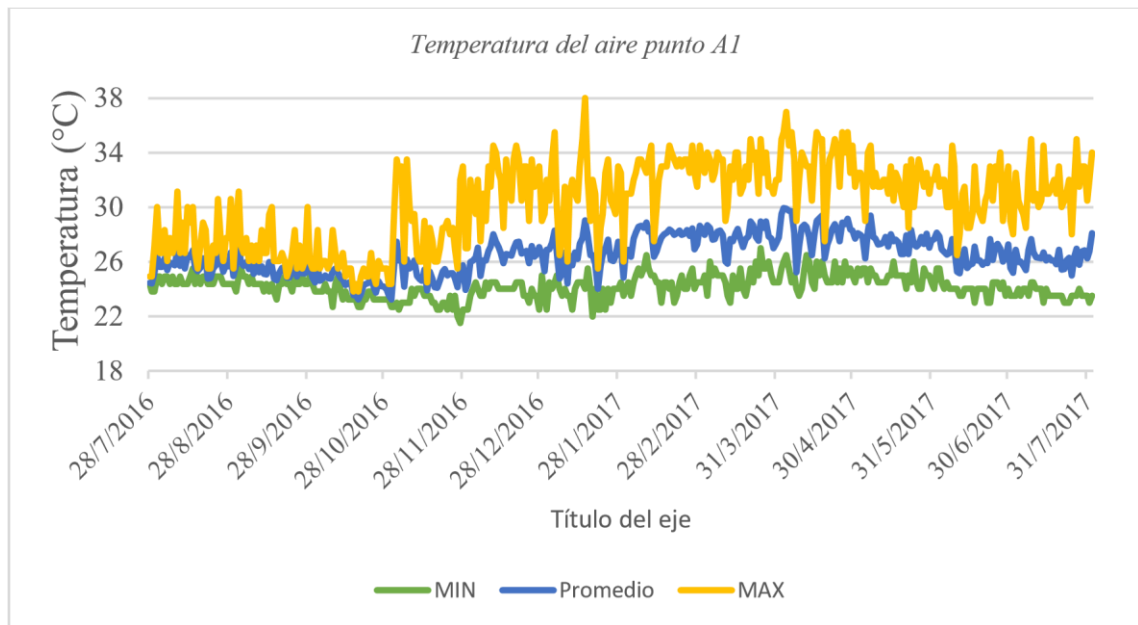


Figura 4.- Datos de temperatura del aire mínima, media, y máxima anual del punto A1 y A10 de la cuenca del río Atacames.

En la Fig.4 se puede observar los datos de la temperatura del aire del punto A1 cual posee un rango de temperatura que fluctúa entre los 21°C a 38°C y del punto A10 va desde los 21°C a 32°C.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del cálculo de Caudal de la cuenca del río Atacames y río Súa.

Tabla 1.- Datos del área de la zona baja y alta del río Atacames.

ATACAMES	zona	km²	zona/total km²
	Alta	74,652	0,630081026
	Baja	43,828	0,369918974
	Total	118,48	

Tabla 2.- Datos del área de la zona baja y alta del río Súa.

SUA	zona	km²	zona/total km²
	Alta	39,07	0,56624009
	Baja	29,929	0,43375991
	Total	68,999	

Tabla 3.- Cálculo de caudal mensual del río Atacames.

MESES	Alta	Baja	Total	% escorrentía	Caudal mm	# días del mes	Caudal m³/s
	Suma	Suma	Suma				ATACAMES
Julio 2016	44,50	0,00	28,04	33,51	9,39	31	0,42
Agosto 2016	9,70	0,00	6,11	37,45	2,29	31	0,10
Septiembre 2016	43,00	23,04	35,62	45,93	16,36	30	0,75
Octubre 2016	11,40	5,42	9,19	63,48	5,83	31	0,26
Noviembre 2016	6,30	2,60	4,93	51,22	2,53	30	0,12
Diciembre 2016	17,10	16,80	16,99	9,63	1,64	31	0,07
Enero 2017	79,60	144,80	103,72	8,67	8,99	31	0,40
Febrero 2017	73,00	40,20	60,87	18,48	11,25	28	0,55
Marzo 2017	64,70	20,80	48,46	38,11	18,47	31	0,82
Abril 2017	62,10	26,70	49,00	34,68	16,99	30	0,78
Mayo 2017	104,30	53,80	85,62	59,49	50,93	31	2,25
Junio 2017	10,70	0,10	6,78	36,55	2,48	30	0,11

Tabla 4.- *Calculo de caudal mensual del río Súa.*

	Alta	Baja	Total	% escorrentía	Caudal mm	# días del mes	Caudal m³/s
MESES	Suma	Suma	Suma				SUA
Julio 2016	44,50	0,00	25,20	33,51	8,44	31	0,22
Agosto 2016	9,70	0,00	5,49	37,45	2,06	31	0,05
Septiembre 2016	43,00	23,04	34,34	45,93	15,77	30	0,42
Octubre 2016	11,40	5,42	8,81	63,48	5,59	31	0,14
Noviembre 2016	6,30	2,60	4,70	51,22	2,40	30	0,06
Diciembre 2016	17,10	16,80	16,97	9,63	1,63	31	0,04
Enero 2017	79,60	144,80	107,88	8,67	9,35	31	0,24
Febrero 2017	73,00	40,20	58,77	18,48	10,86	28	0,31
Marzo 2017	64,70	20,80	45,66	38,11	17,40	31	0,45
Abril 2017	62,10	26,70	46,74	34,68	16,21	30	0,43
Mayo 2017	104,30	53,80	82,40	59,49	49,01	31	1,26
Junio 2017	10,70	0,10	6,10	36,55	2,23	30	0,06

Luego de utilizar el modelo matemático para llenar los vacíos de información en la base de datos de temperatura, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.- Ajuste del modelo de imputación a la serie modelada.

Punto	a	b	alfa	R²	RMSE	F test	1/alfa
S1	11,549	0,608	0,390	0,787	0,412	p<0,001	2,564
S3	9,565	0,687	0,130	0,394	0,296	p<0,001	7,692
S5	8,989	0,706	0,160	0,637	0,582	p<0,001	6,250
S7	9,143	0,678	0,470	0,653	0,302	p<0,001	2,128
A1	8,267	0,765	0,510	0,775	0,531	p<0,001	1,961
A3	12,739	0,563	0,050	0,420	0,310	p<0,001	20,000
A5	4,836	0,906	0,110	0,622	0,476	p<0,001	9,091
A7	36,253	-0,446	0,280	0,045	0,205	NS	3,571
A10	5,891	0,749	0,180	0,904	0,213	p<0,001	5,556

En las tabla 5 y 6 se muestran los valores de ajuste para el modelo de las series temporales en las que faltan datos, se puede observar como el modelo de la temperatura diaria expresó una alta bondad de ajuste para los datos de temperatura del agua, en la mayor parte de los sitios de estudio, donde el valor de R² fue superior a (0,60), lo que indica una dependencia de la temperatura de los ríos Atacames y Súa hacia la temperatura del aire, ya que existen suficientes datos para correlacionarlos; mientras que el punto A7 manifestó el R² muy bajo (0,045).

Así mismo el valor de alfa varía entre 0,05 y 0,51, lo que indica que la variabilidad de la temperatura del agua, depende de la temperatura del aire y también está relacionada con las condiciones climáticas de los días contiguos. Para interpretar el valor de alfa hay que calcular el inverso (1/alfa), el cual se interpreta como el número de días.

Tabla 6.- Ajuste del modelo de imputación a la serie de validación.

	a	b	alfa	R²	RMSE	F test
S1mod vs S9Val	29,592	0,890	0,10	0,8136	0,5242344	p<0,001
A1mod vs S9Val	35,789	0,868	0,09	0,8331	0,4671253	p<0,001
A3mod vs S9Val	64,439	0,729	0,23	0,6760	0,2994414	p<0,001
A5mod vs S9Val	-34,793	1,152	0,20	0,8661	0,3081549	p<0,001
A7mod vs S9Val	30,022	-0,290	0,26	0,0570	0,1136459	NS
A10mod vs S9Val	70,231	0,718	0,07	0,6561	0,4514114	p<0,001
S3mod vs S9Val	11,004	0,523	0,11	0,4571	0,1984712	p<0,001
S5mod vs S9Val	46,813	0,813	0,08	0,7765	0,4660841	p<0,001
S7mod vs S9Val	65,546	0,724	0,23	0,6837	0,2762063	p<0,001

Al hacer una validación del modelo entre cada uno de los puntos de estudio, con el punto S9, que tiene la serie completa de datos vemos que, que el número de datos disponibles en la serie A7 es insuficiente para obtener un modelo.

Tabla 7.- El RMSE de los valores imputados estimados a partir de la serie de validación.

Punto	S9Val
S1	1,3525459
S3	1,2250575
S5	0,8013652
S7	0,8893031
A1	0,8858663
A3	0,8802302
A5	0,8524208

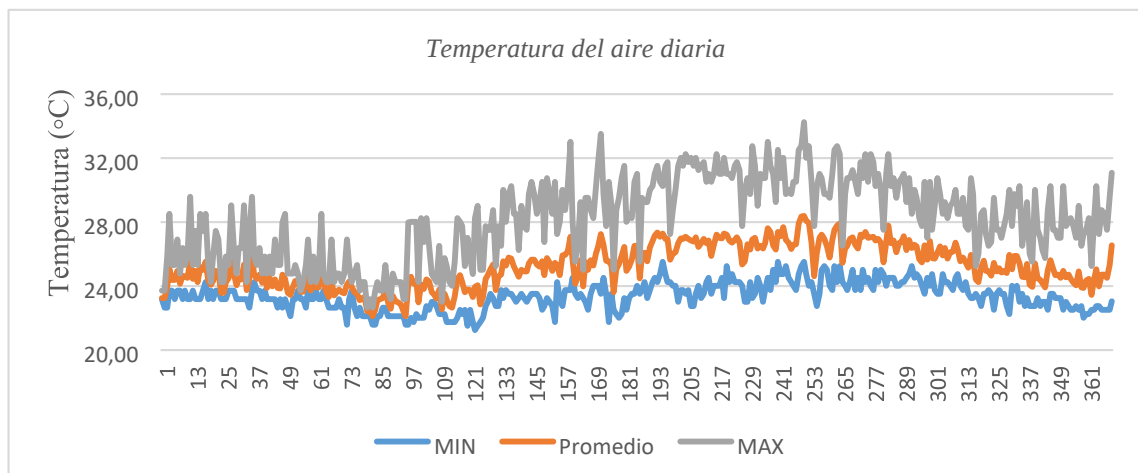
A7	2,1485661
A10	0,7310858

La tabla 7 indica el error que comete el modelo y se puede observar que el punto A7 tiene un valor alto ($RMSE = 2,14\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que significa que la serie de temperatura de A7 es demasiado corta y tiene pocos datos. Se pueden observar valores bajos de RMSE que van de ($0,73\text{-}1,35\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que indica que el modelo proporcionó buenas predicciones de la temperatura diaria en la mayoría de los puntos de estudio, excepto estaciones S1 y S3 donde el modelo está cometiendo un error grande.

Por todo esto, el punto A7 del río Atacames se descartó para el resto de los análisis debido a que tiene muchos vacíos de información y el modelo no logro hacer buenas predicciones para esa zona.

Temperatura del aire

Se puede observar que las temperaturas del aire mínimas fluctúan entre los (23°C y 25°C), a diferencias de las temperaturas máximas que van de (26°C y 33°C), a escala diaria se puede notar una gran variabilidad de la temperatura del aire, mientras que una escala mensual esta variabilidad se va perdiendo, pero con clara correlación entre sus distancias mínima, promedio y máxima (Figura 5).



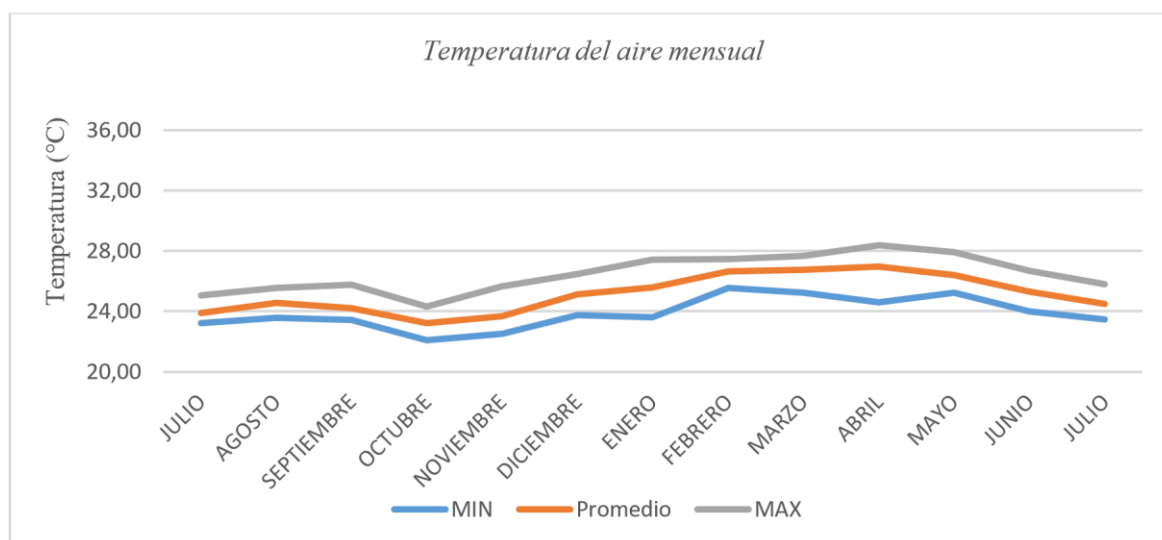
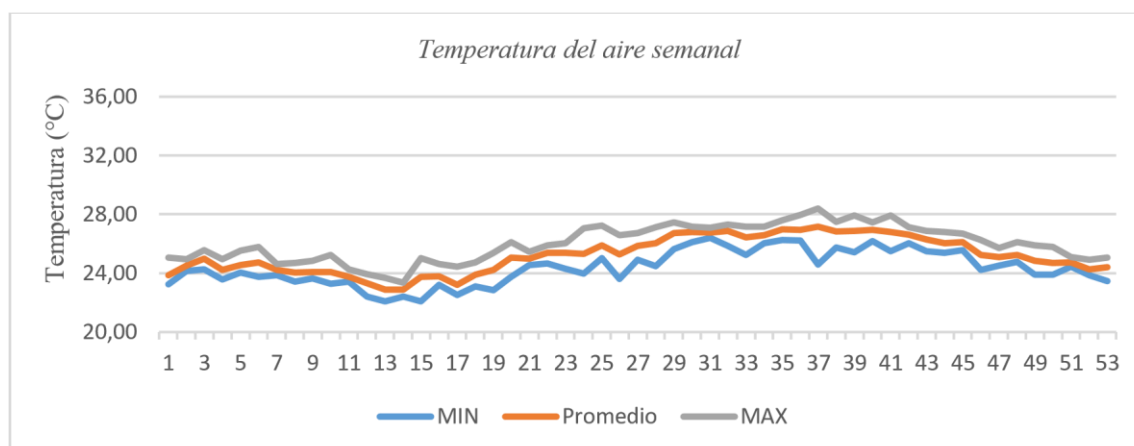


Figura 5.- Temperatura del aire diaria, semanal y mensual.

Temperatura del agua

Con los valores del modelo se completó todos los datos para los diferentes puntos del río Atacames y el río Súa y se procedió a calcular los promedios diarios, semanales y mensuales a nivel de toda la zona de estudio.

Se puede observar que las temperaturas del agua mínimas fluctúan entre los (24°C y 25°C), a diferencias de las temperaturas máximas que van de (26°C y 29°C), a escala diaria se puede notar que la variabilidad de la temperatura del agua es un poco más regular, mientras que una escala mensual esta variabilidad se va perdiendo, pero con clara correlación entre sus distancias mínima, promedio y máxima (Figura 6).

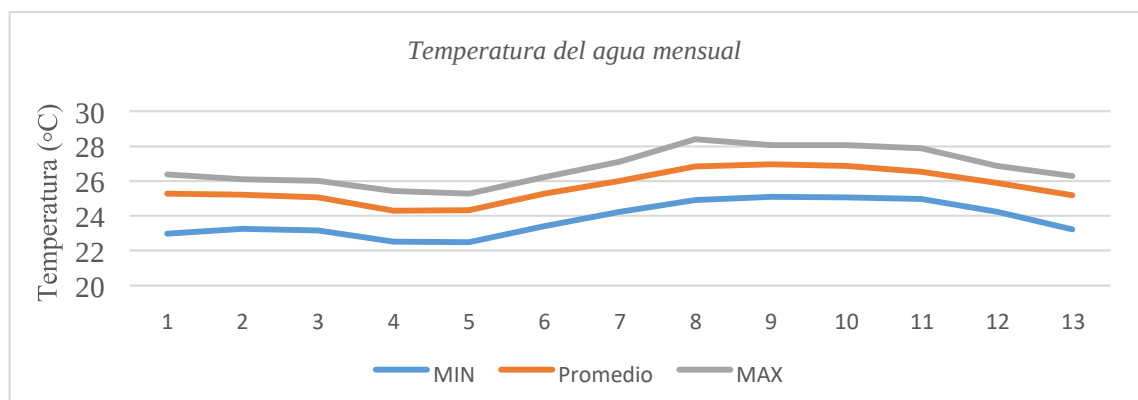
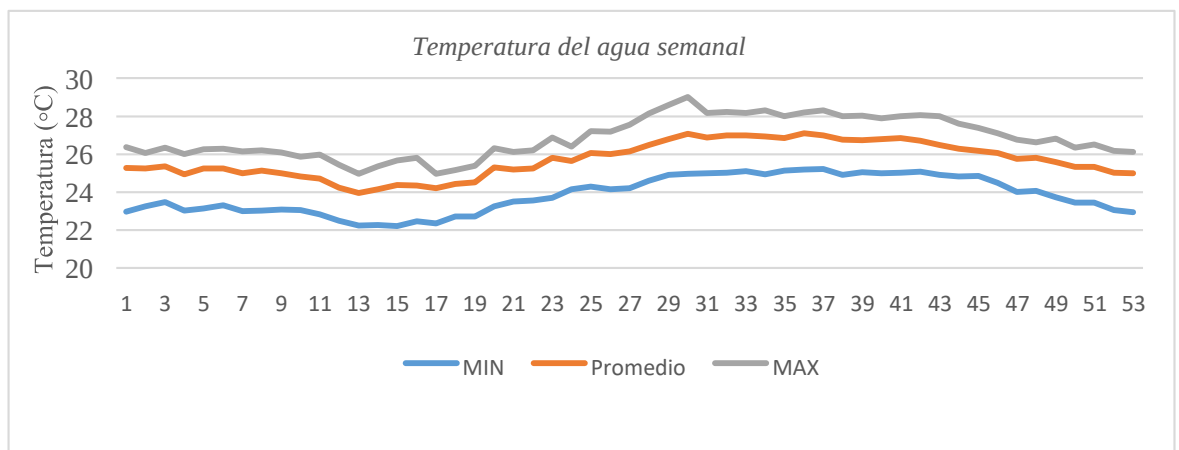
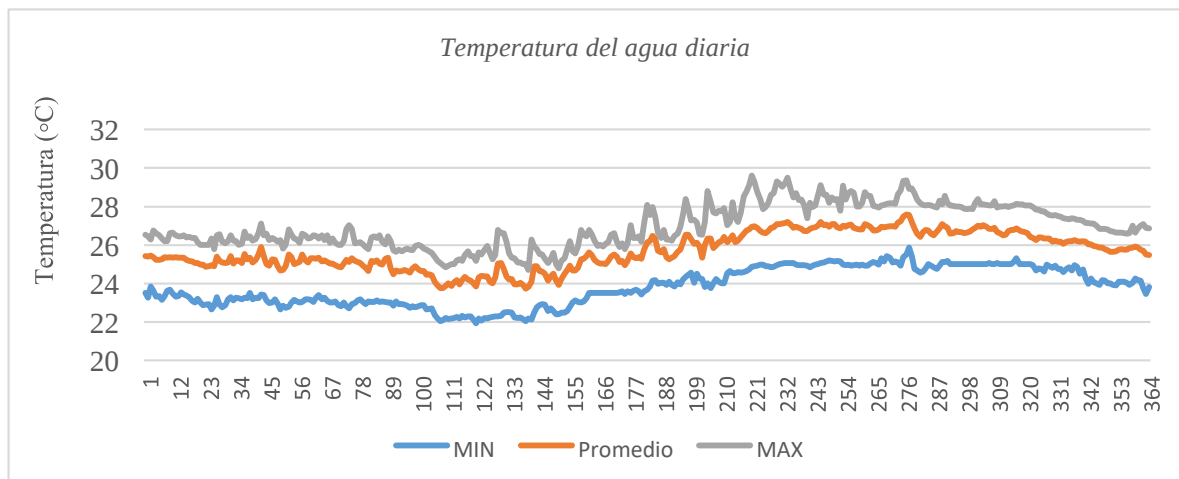
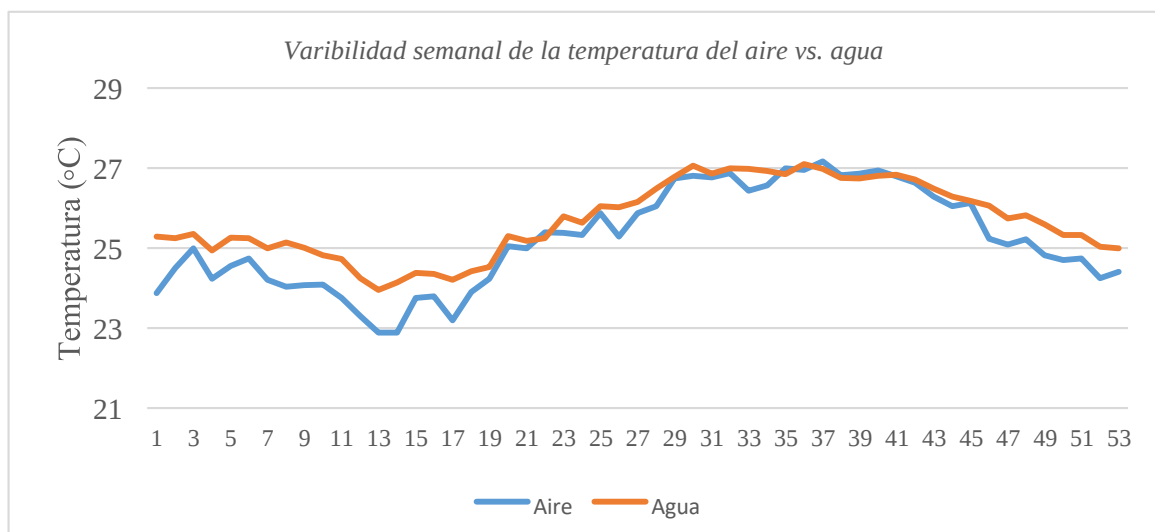
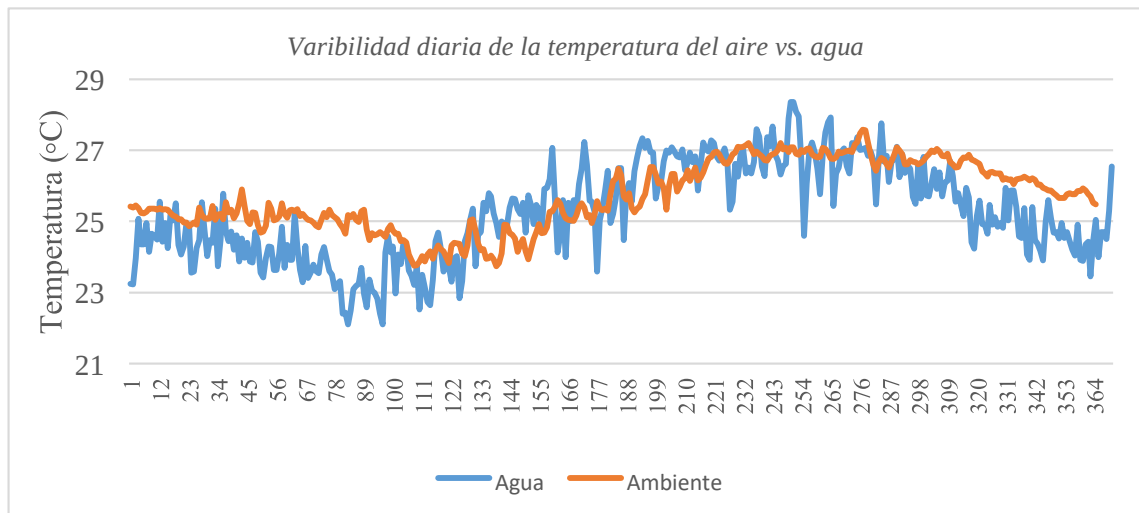


Figura 6.- Temperatura del agua diaria, semanal y mensual.

Temperatura del agua Vs. Temperatura del aire en las cuencas

La Figura 7 muestra la relación entre temperatura del aire y la temperatura del agua; las variaciones, con temporalidad corta, muestra cruces entre los picos diarios, por lo que solo muestra un coeficiente de correlación bueno y diferencias significativas (t de Student, $n=371$; $t= -5,6502$; $p<0.001$); para temporalidad semanal crece la correlación y se mantiene la diferencia estadística ($n=53$; $t= -2,209$; $p<0.001$), mientras que para la escala mensual crece la correlación pero se pierde la diferencia estadística ($n=13$; $t= -1.2072$; $p<0.2389$) (Figura 7).



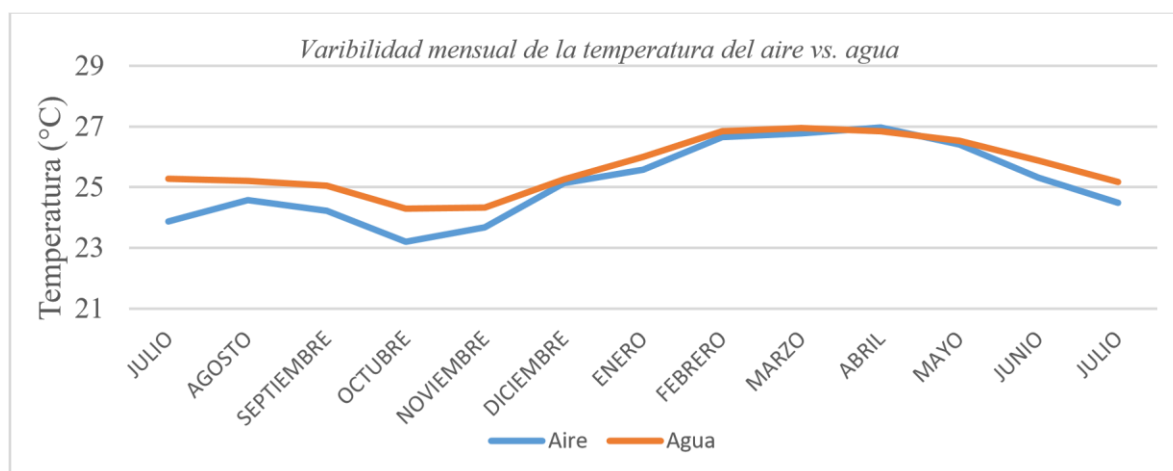


Figura 7.- Temperatura del agua VS Temperatura del aire diaria, semanal y mensual entre los ríos Atacames y Súa.

Cabe mencionar que la temperatura del agua es más alta que la temperatura del aire en el periodo de verano (julio – diciembre), y esto se debe a la influencia de aguas subterráneas, a diferencia del periodo de invierno (enero – julio) donde la temperatura del agua y la temperatura del aire poseen patrones iguales de temperatura, es decir que hay más influencia de la temperatura del aire hacia la temperatura del agua.

Si se analizan los valores mínimos y máximos, a estas tres diferentes dimensiones se pueden apreciar que los rangos disminuyen según aumenta la escala, es decir que las diferencias entre los valores de las temperaturas mínimas y máximas se reducen de una escala diaria a una escala mensual (Tabla 8).

	Temperatura del agua (°C)			Temperatura del aire (°C)		
	Diaria	Semanal	Mensual	Diaria	Semanal	Mensual
Mínima	22.10	22.89	23.21	23.74	23.96	24.29
Máxima	28.36	27.08	26.58	27.57	27.11	26.96

Tabla 8.- Temperaturas mínimas y máximas ambientales y del agua en los ríos Atacames y Súa.

Temperatura del agua entre las cuencas

La relación entre temperatura del agua entre el río Atacames y la temperatura del agua en el río Súa, con temporalidad corta, muestra cruces entre los picos diarios, pero muy similares (t de Student, $n=365$; $t= -3,81$; $p<0.002$); la temporalidad semanal mantiene una

correlación similar pero ya no muestra diferencia estadística ($n=53$; $t= -1,47$; $p<0.14$), algo similar pasa en la escala mensual ($n=13$; $t=-0,70$; $p>0.48$) (Figura 8). Cabe recalcar que la temperatura del río Atacames es más alta con respecto a la del río Súa con un rango de aproximadamente ($0,5^{\circ}\text{C}$).

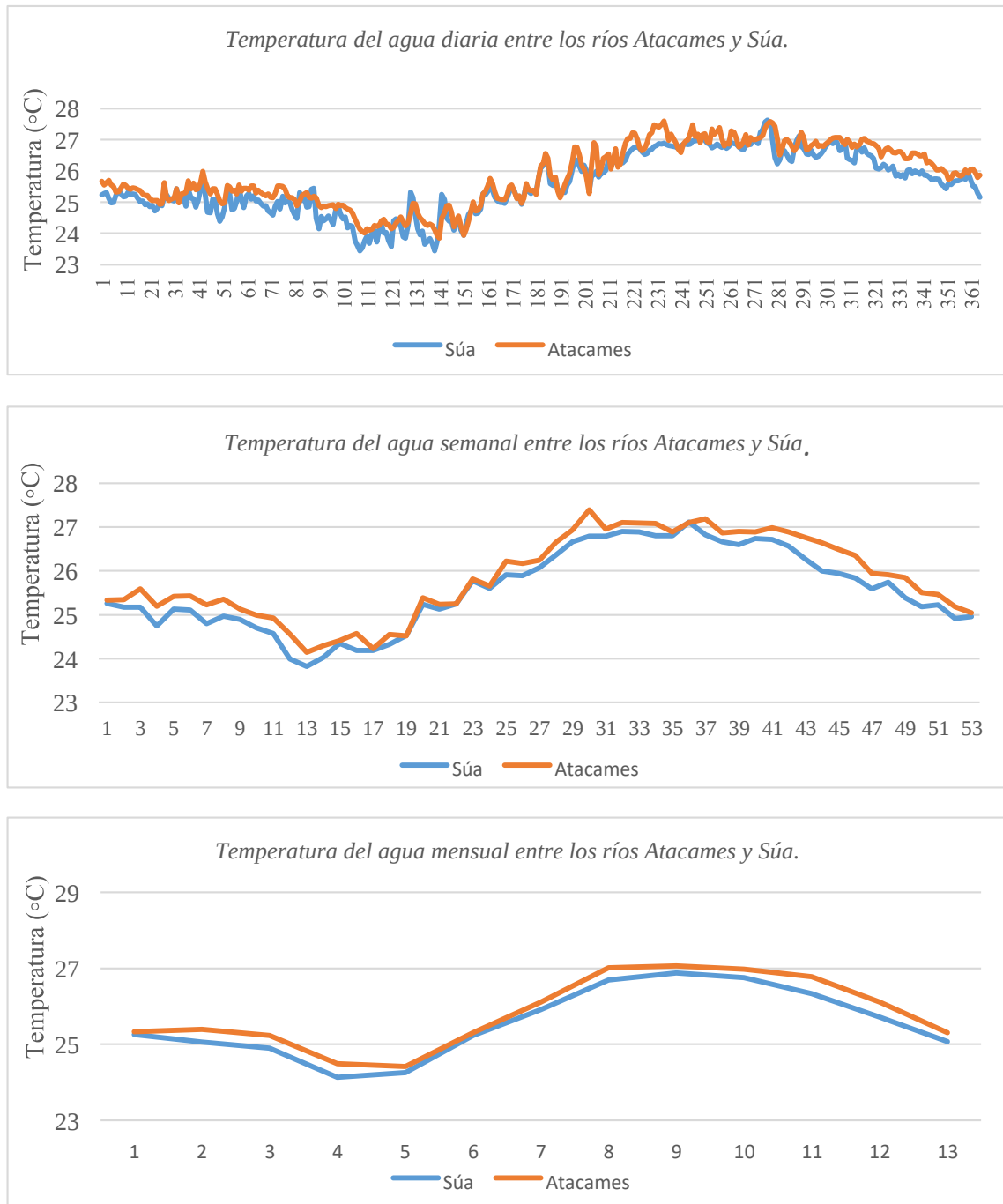


Figura 8.- Temperatura del agua diaria, semanal y mensual entre los ríos Atacames y Súa.

Temperatura del agua entre épocas del año

La relación entre temperatura del agua entre verano y la temperatura del agua en invierno, bajo cualquier escala muestra siempre diferencias significativas. Bajo patrón diario (t de Student, $n=181$; $t= -31,5$; $p<0.001$); semanal ($n=26$; $t= -12,74$; $p<0.00$); y mensual ($n=6$; $t= -6,07$; $p<0.005$), es decir que son claramente diferentes las temperaturas del agua entre el verano y el invierno mostrando patrones de variación muy similar (Figura 8).

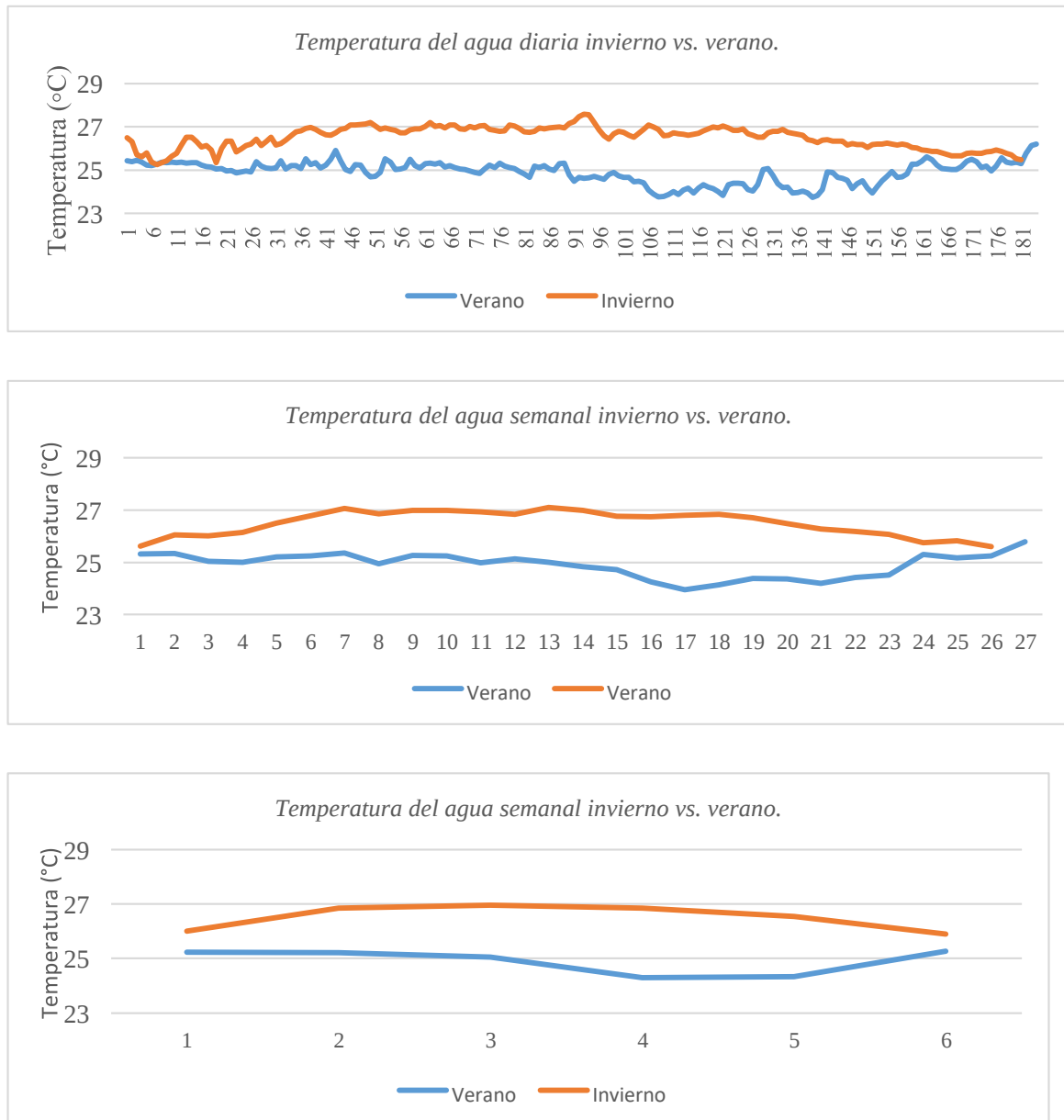


Figura 9.- Temperatura del agua de Invierno vs. Verano, diaria, semanal y mensual.

Caudales

La cuenca del río Atacames y del río Súa presentan un período de caudales bajos desde el mes de julio hasta diciembre excepto en el mes de septiembre, y un periodo de caudales fuertes que va aumentando desde el mes de enero hasta el mes de junio con fuertes crecidas de los ríos debido a la estacionalidad de la precipitación especialmente en el mes de mayo. Además, es muy notorio que el caudal de la cuenca del río Atacames es mayor a la cuenca del río Súa (Figura 10).

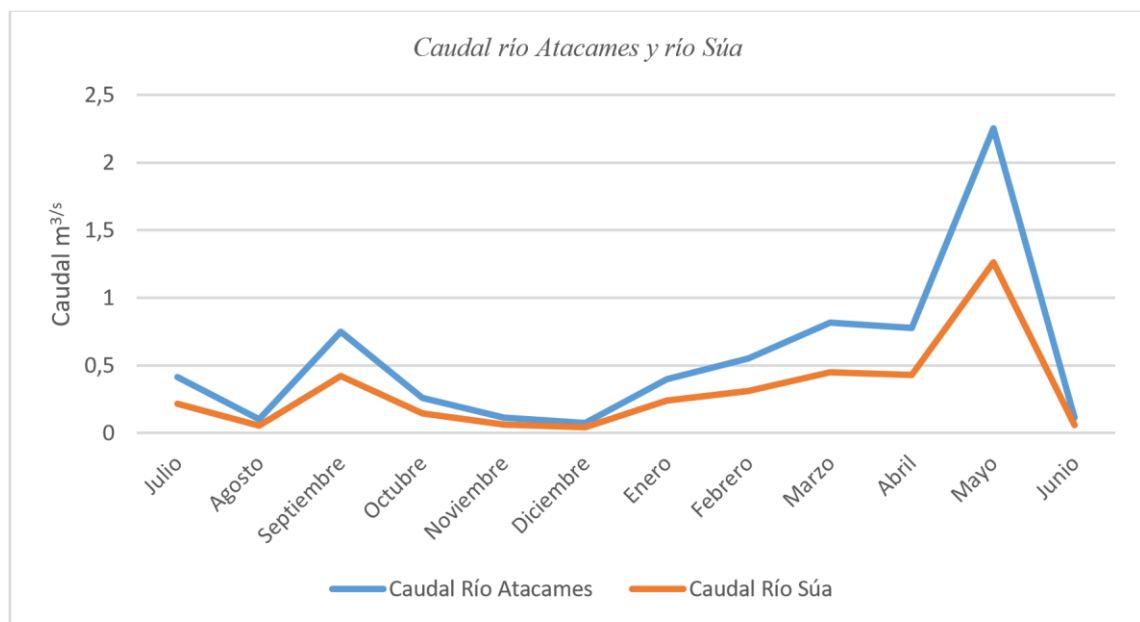


Figura 10.- Caudal del río Atacames y río Súa

Análisis de patrones ambientales de correlación entre las mediciones a lo largo del gradiente y entre los ríos Atacames y Súa.

Las diferencias entre la temperatura del río Atacames y la temperatura del río Súa, analizando datos globalmente fueron significativas (ANOVA; $F_{2,3279} = 52,25$; $p = <0,0001$). Por otra parte, las diferencias entre las zonas alta, media y baja del río Atacames y del río Súa fueron significativas (ANOVA; $F_{2,3279} = 1191,55$; $p = <0,0001$).

Se puede apreciar que la zona alta del río Atacames y del río Súa tienen menor temperatura. Por otro lado, el río Atacames tiene temperaturas más altas en la zona media y baja que el río Súa (Figura 11).

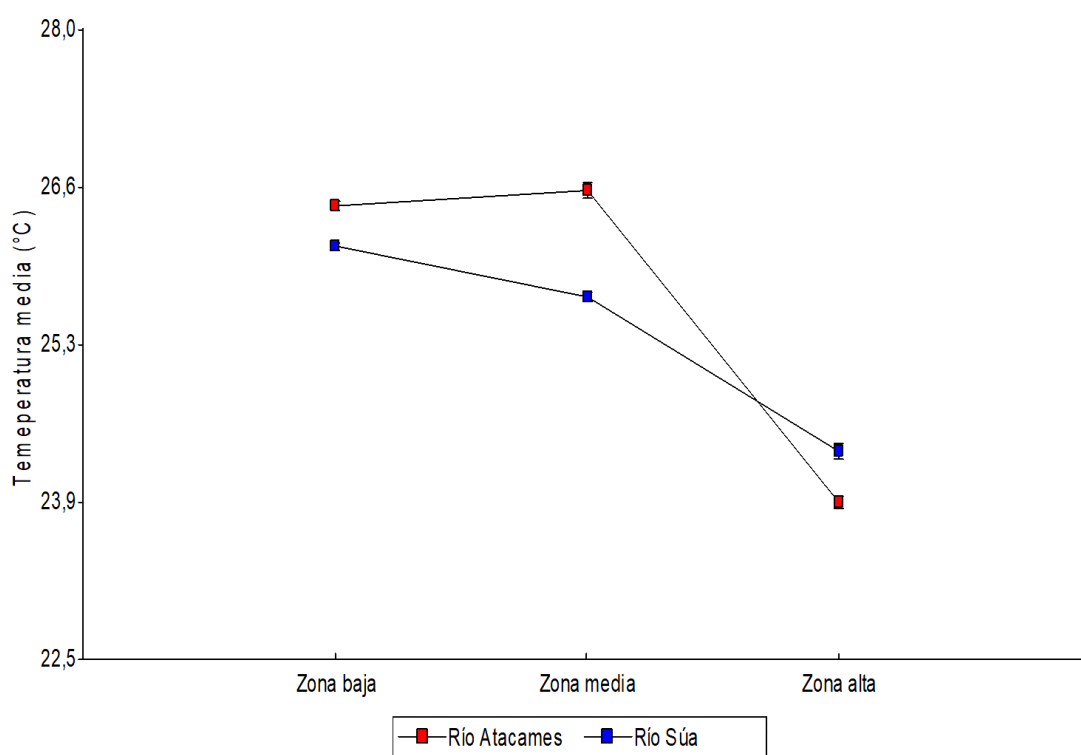


Figura 11.- Relación de la temperatura del agua entre medidas a lo largo del gradiente y entre los ríos Atacames y Súa.

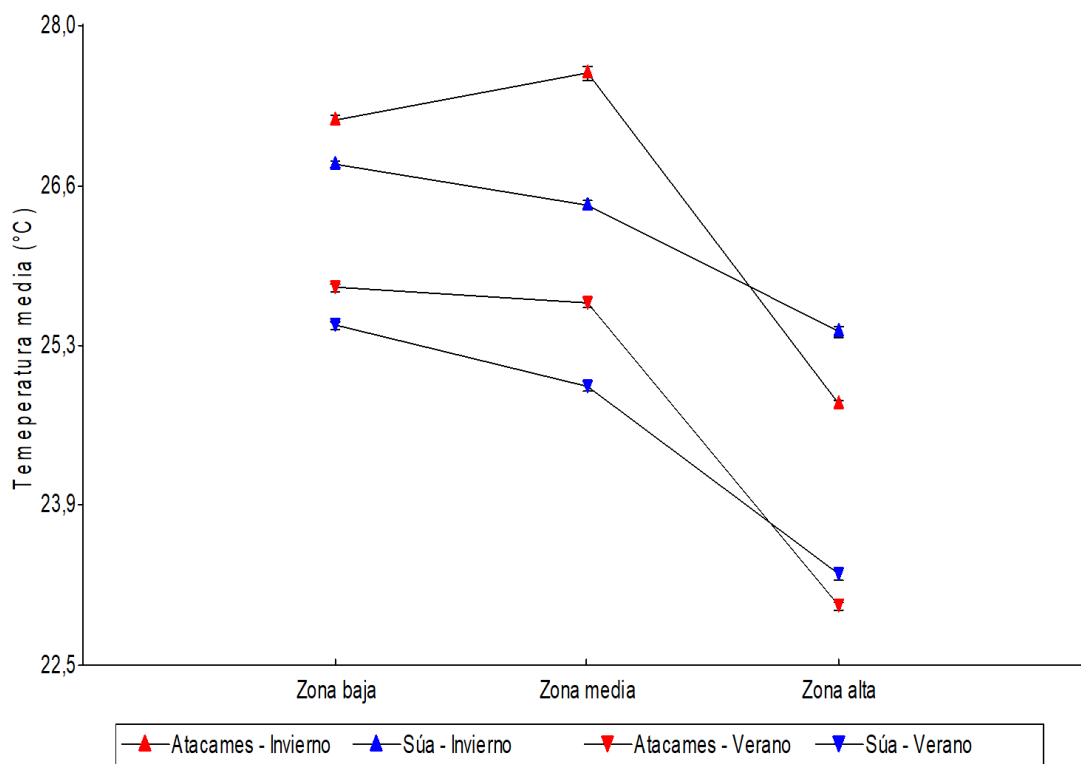


Figura 12.- Relación de la temperatura del agua en invierno y verano a lo largo del gradiente y entre los ríos Atacames y Súa.

La zona alta del río Atacames y el río Súa en el periodo de invierno la temperatura del agua es baja (24°C y 25°C), mientras que en la zona media y baja de ambos ríos la temperatura aumenta 2°C más y los rangos van desde (26°C y 27°C). Mientras que en el periodo de verano la temperatura del agua también es baja (23°C), mientras que en la zona media y baja de ambos ríos la temperatura aumenta 2°C más, es decir a (25°C). Notándose patrones de temperatura iguales en el Río Atacames y Súa, en el periodo de invierno y verano (Figura 12).

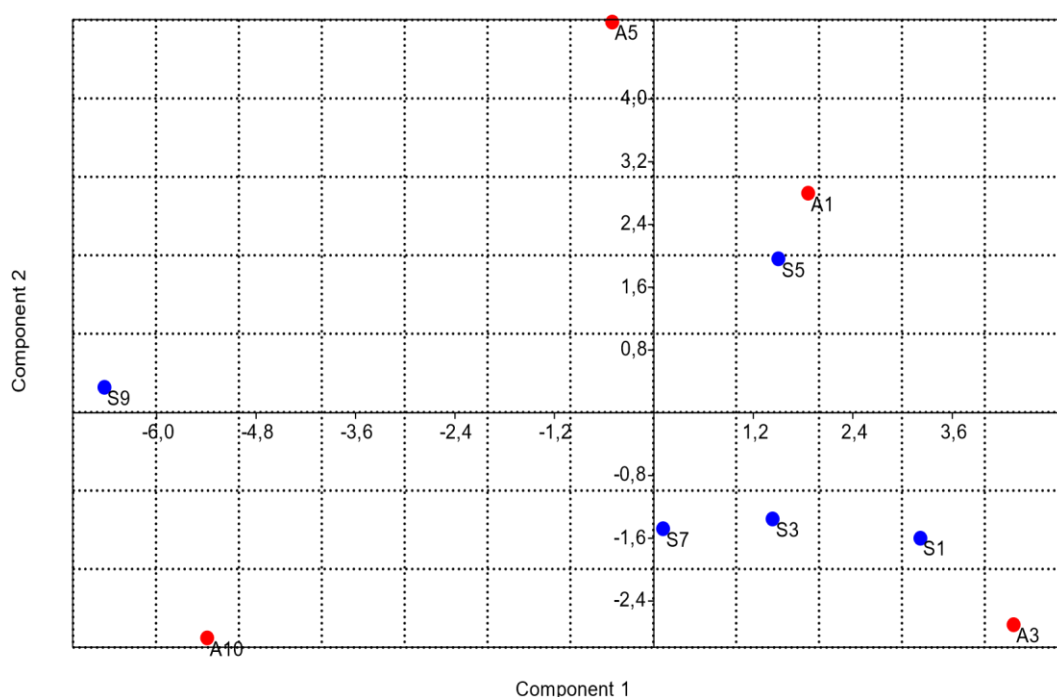


Figura 13.- Análisis de ACP. Localización de las estaciones de muestreo en función de los dos componentes seleccionados en el ACP. Se muestran las estaciones de muestreo del río Súa en azul y las del río Atacames en rojo.

El componente 1 se correlacionó con las zonas de estudio del río Atacames y del río Súa y se puede interpretar como un indicador de las altitudes es decir de la zona alta, media y baja de cada río. El componente 2 se correlacionó con las temperaturas medias máximas y los rangos, en donde cada punto de muestreo se separa en función de la variación anual de temperatura (Figura 13), ver anexo 3.

La distribución de las estaciones del río Atacames y del río Súa indican la mayor diferencia acumulada entre cada una de las variables, de tal manera que representa fácilmente las temperaturas máximas que generan una diferencia muy marcada entre las zonas altas y las zonas medias y bajas, notándose que hay una diferencia de la temperatura en las zonas altas (Figura 13).

CAPITULO IV: DISCUSIÓN

La temperatura es una variable meteorológica que posee una relación lineal con la altitud, es decir a mayor altura, menor será la temperatura (30), hay evidencia que confirma que la temperatura del agua, bajo condiciones de equilibrio, se encuentra estrechamente relacionada con la temperatura del aire de forma propia para cada corriente, con un patrón de comportamiento que en algunos casos puede ser lineal y en otros un poco más complejo (31).

Un estudio realizado por Molinero et al. (2016) en la Cordillera Vasca sobre la temperatura de los arroyos en invierno, usaron el mismo modelo de correlación de la temperatura del aire y la temperatura del agua, en donde la temperatura diaria mostró una alta bondad de ajuste a los datos de temperatura de la corriente(8). En 23 de los sitios de ese estudio, el R^2 fue superior a 0,65 y el R^2 más bajo de 0,35; mientras que el valor obtenido en la cuenca del río Atacames y río Súa fue superior a 0,60. En este estudio, el punto A7, tuvo apenas un R^2 de 0,045, pero se debió a la falta de datos que no permitieron el diseño de un modelo confiable y no tanto porque no existiera una buena correlación entre ambas temperaturas. En otro estudio realizado en Pensilvania por Kelleher et al. (2012), donde tambien aplicaron el mismo modelo se obtuvo como resultado valores de R^2 que oscilaban 0,09 y 0,93 cuando se analizó la relación lineal entre las temperaturas del aire y del agua, en donde 2 sitios tenían $R^2 < 0,6$ y 15 sitios obtuvieron $R^2 > 0,9$. En los Ríos Atacames y Súa, el valor de R^2 fue superior a 0,50, excepto en el punto A7 (32).

Se han realizado otros estudios donde se ha visto que hay correlación directa entre la temperatura del aire y la temperatura del agua en varias escalas de tiempo. Se ha visto también que las correlaciones son normalmente débiles en una escala de tiempo diaria, mientras que una escala de tiempo más gruesa (por ejemplo, mensual) puede llevar a una mejor compresión global de la variabilidad pero a una pérdida de información potencialmente relevante del detalle (33). La escala semanal muestra menos detalle, pero presentan una visión global aún más clara que la mensual; es decir que los datos mensuales se visualizan sin detalles, pero con una más clara correlación entre sus rangos mínimo, promedio y máximo.

Los resultados de Stefan y Preud'homme (1992), en su estudio sobre la estimación de la temperatura del agua partir de la temperatura del aire, mostraron que el valor de R^2 , aumentaba aproximadamente de (0,75 a 0,80); mientras que el RMSE de (2,58 a 2,28°C) (20), a diferencia de los Ríos Atacames y Súa, donde el valor de R^2 fue superior a 0,50 y el RMSE varió de (0,73-1,35 °C), lo que indica que el modelo proporcionó buenas predicciones de la temperatura diaria en todos los puntos de estudio.

Troy et al. (2000) indican que las temperaturas máximas y mínimas del agua tienden a “amortiguar” las temperaturas del aire, y esto se da a medida que crece el tamaño de la cuenca de un río (34), donde se presenta la disminución del R^2 (0,98 a 0,59), similar a lo que sucede en los ríos Atacames y Súa, donde el valor de R^2 fluctúa de (0,86 a 0,50), según se desciende en el cauce.

En otro estudio realizado por Caissie et al. (2011), mostraron que el modelo solo era posible de predecir en escalas semanales con valor de RMSE de 1.93°C, pero demostró que era posible predecir las temperaturas diarias del agua utilizando solo temperaturas del aire, en pequeños arroyos (35). Mientras que el valor obtenido de RMSE en la cuenca del río Atacames y río Súa varía entre (0,73°C y 1,35 °C), excepto en el punto A7 donde no se logró hacer predicciones precisas debido a que tiene pocos datos y un valor de RMSE de (2,14°C). Cabe mencionar que los ríos Atacames y Súa son ríos tropicales con una variabilidad interanual de temperatura de 2°C por lo que al tener un error de predicción de 2,14°C es un error grande que ha cometido el modelo aplicado.

Así mismo la temperatura del agua en los ríos va a depender no solo de los cambios naturales de calor con la atmósfera, también depende de las aportaciones de los afluentes y aguas subterráneas y de las alteraciones por parte de las actividades humanas. En condiciones naturales, los ríos se encuentran en un equilibrio térmico con el ambiente, cabe recalcar que la temperatura media interanual del agua de un río aumenta a medida que la altitud disminuye (36).

En este estudio, se muestra que temperatura del agua es más baja en la zona alta de los ríos Atacames y Súa, mientras que en la zona media y baja de ambos ríos la temperatura aumenta, más o menos 2°C, y esta diferencia se da tanto en el invierno como en el verano. Se puede apreciar también que la zona alta del río Atacames tiene aún menor temperatura que la zona alta del río Súa, posiblemente debido a que es una zona que tiene más pendiente, tiene menos caudal y posee mayor cobertura vegetal. Todo lo contrario, a lo que sucede en la zona media y baja, donde el Atacames tiene cauces más amplios, con poca pendiente y menor cobertura vegetal; por lo que la temperatura se presenta un poco más alta que en las zonas media y baja del río Súa.

En el estudio realizado por Montaña (2018) sobre la comparación de características geomorfológicas de las cuencas del río Atacames y Súa, menciona que a lo largo del cauce del río Atacames existe la presencia de dos represas, las cuales disminuyen la velocidad del cauce y tienden a afectar la temperatura del agua, en la zona baja de la cuenca (37).

Así mismo Webb et al. (2008), indican que los ríos que tienen embalses o reciben descargas de agua residuales o subterráneas tienden a tener una correlación agua-aire muy débil (17). Como lo que sucede en la cuenca del río Atacames y el río Súa, ya que, en el periodo de verano, la temperatura del agua es más alta que la temperatura del aire y esto se debe a la influencia de aguas subterráneas, a diferencia del periodo de invierno donde la temperatura del agua y la temperatura del aire poseen patrones iguales de temperatura, es decir que hay más influencia de la temperatura del aire hacia la temperatura del agua.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- La aplicación del modelo para relacionar la temperatura del aire y la temperatura del agua, funciona ya que se pudo constatar una correlación amplia entre estas dos variables. Sin embargo, la variabilidad en la temperatura del agua, no depende solo de la temperatura del aire ya que también está relacionada con otro tipo de condiciones ambientales y climáticas de días contiguos.
- Se necesitan aproximadamente 100 datos de temperatura diaria para que el modelo matemático funcione, ya que el punto A7 al tener muchos vacíos de información

y solo contaba con 50 datos de temperatura diaria, la predicción del modelo en este punto no fue la esperada.

- La escala de mayor y mejor detalle representa la representación de patrones diarios, mientras que para tener una visualización global resultan útiles los patrones semanal y mensual en ese orden. Desde cualquier escala en la que se represente la temperatura del agua, entre la época de invierno y verano, se presentan patrones claramente diferenciables.
- Los ríos Atacames y Súa poseen una variabilidad interanual de temperatura de 2°C, y tienen patrones de temperatura iguales en el periodo de invierno con (26°C), siendo marzo el mes más frío, y en verano con un rango de (24°C y 25°C) siendo diciembre el mes mas cálido.
- También existen diferencias significativas en la temperatura del agua en la zona alta del río Atacames, a diferencia de la zona media y baja que son similares. Mientras que en el río Súa la temperatura del agua presenta diferencias significativas a lo largo de las tres zonas. Finalmente, el caudal de la cuenca del río Atacames es mayor, al caudal de la cuenca del río Súa.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- Aplicar métodos alternativos para la recolección de datos de temperatura del aire y temperatura del agua, que permitan contar con los datos continuos y de larga duración, para tener información que pueda ser susceptible de análisis regionales o globales.
- Promover la realización de estudios con mayor profundidad sobre la relación entre la temperatura del aire y la temperatura del agua, estableciendo correlación o covarianza con otros factores ambientales y así se pueda lograr determinar patrones regionales sensibles a cambios en la temperatura global.

BIBLIOGRAFÍA

1. Elozegi A. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVa; 2009.
2. Encalada A. Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos: Reflexiones sobre el concepto de caudal ecológico y su aplicación en el Ecuador. *Polémika*. 2010;5(1).
3. Kaufman L. Catastrophic change in species-rich freshwater ecosystems. *Bioscience*. 1992;42(11):846–58.
4. Sabaj V, Rodríguez-Gallego L, Chreties C, Crisci M, Fernández M, Colombo N, et al. Qué son los Caudales Ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe. 2014;
5. Morán AR. caracterización de la calidad de las Aguas y Sedimentos del río Atacames 2002. *Acta Ocean del pacífico*. 2003;12:13.
6. Reinoso-F G, Guevara-G G, Vejarano-D M, Garcia-M J, Villa-N F. Evaluación del río Prado a partir de los macroinvertebrados y de la calidad del agua. *Rev Asoc Colomb ciencias biológicas*. 2008;20:102–16.
7. Jacobsen D, Schultz R, Encalada A. Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. *Freshw Biol*. 1997;38(2):247–61.
8. Molinero J, Larrañaga A, Pérez J, Martínez A, Pozo J. Stream temperature in the Basque Mountains during winter: thermal regimes and sensitivity to air warming. *Clim Change*. 2016;134(4):593–604.
9. Isaak DJ, Wenger SJ, Peterson EE, Ver Hoef JM, Nagel DE, Luce CH, et al. The NorWeST Summer Stream Temperature Model and Scenarios for the Western US: A Crowd-Sourced Database and New Geospatial Tools Foster a User-

Community and Predict Broad Climate Warming of Rivers and Streams. Water Resour Res.

10. Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon J. Elementos esenciales de los caudales ambientales. 2003. 125 p.
11. Camaren. Guía Metodológica de Inventarios de los Recursos Hídricos . 2005; Available from:
<http://www.camaren.org/documents/guiainventarios/guiainventarios.pdf>
12. Ordóñez J. ¿ Qué Es Cuenca Hidrológica ? Soc Geológica Lima [Internet]. 2011;1:1–44. Available from:
http://www.gwp.org/Global/GWPSAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrolologica.pdf
13. Fao. Ecología De Las Pesquerías Fluviales [Internet]. Forma De Los Sistemas Fluviales. Available from:
<http://www.fao.org/docrep/003/X6853S/X6853S02.htm>
14. Sánchez J, Maza J. Morfología de ríos. Morfología de Ríos. 1985. p. 50.
15. Andalucía J de. Factores que influyen en la red hidrográfica. [Internet]. Available from:
http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/13122010/ff/esan_2010121313_9170018/ODE-5ea32056-57b3-3c38-823c-3c0ee3359298/2_factores_que_influyen_en_la_red_hidrogrfica.html
16. Naturaleza BI, Ambiente YM, España EN, Duero E. La hidrografía.
17. Webb B, Hannah D, Moore R, Brown L NF. Catchment scale controls the temporal connection of transpiration and diel fluctuations in streamflow. Hydrol Process. 2008;26(February):1–16.
18. Jiménez P. Contaminación del río Atacames y su impacto en la comunidad de peces. Vol. 2, Anuario de Investigación y Desarrollo. 2012. 14 p.
19. Anastasiadi D, Díaz N, Piferrer F. Small ocean temperature increases elicit stagedependent changes in DNA methylation and gene expression in a fish, the European sea bass. Sci Rep. 2017;7(1):12401.

20. Stefan HG, Preud'homme EB. Stream Temperature Estimation From Air Temperature. JAWRA J Am Water Resour Assoc. 1993;29(1):27–45.
21. Erazo WRS, Ortiz EPA. Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. Cienc Unemi. 2015;7(12):100–10.
22. DED-SENAGUA. Estudio exploratorio, problemática y conflictos sobre los recursos hídricos por efectos del cambio climático. [Internet]. 2009. Available from: <http://www.senagua.gov.ec/files/ded/>
23. Constitucional T. Constitución de la República del Ecuador. Quito-Ecuador Regist Of. 2008;449:10–20.
24. de Recursos Hídricos LO. Uso y Aprovechamiento del Agua. Registro Oficial; 2014.
25. Desarrollo SN de P y. Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. Senplades Quito; 2014.
26. de Esmeraldas P. Plan de Desarrollo Provincial de Esmeraldas. Esmeraldas; 2005.
27. Stefan E&. linear air/water temperature correlations for streams during open water periods.
28. Ramírez JO, Aguas YB, Altafuya KC. Estudio Comparativo De La Calidad De Los Ríos Teane Y Atacames Empleando Macroinvertebrados Como Bioindicadores. Gestión Ambient. 2017;(14).
29. Sandoval Erazo WR, Aguilera Ortiz EP. Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. Cienc Unemi. 2018;7(12):100.
30. Serrano Vincenti S, Zuleta D, Moscoso V, Jácome P, Palacios E, Villacís M. Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. La Granja. 2017;16(2):23.
31. Posada E, Mojica D, Pino N, Bustamante C, Monzón A. Establecimiento de Índices de Calidad Ambiental de Ríos con Bases en el Comportamiento del Oxígeno Disuelto y de la Temperatura. Aplicación al Caso del Río Medellín, en el Valle de

- Aburrá en Colombia. Dyna [Internet]. 2013;181:192–200. Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a21.pdf>
32. Kelleher C, Wagener T, Gooseff M, McGlynn B, McGuire K, Marshall L. Investigating controls on the thermal sensitivity of Pennsylvania streams. *Hydrol Process*. 2012;26(5):771–85.
 33. Arismendi I, Safeeq M, Dunham JB, Johnson SL. Can air temperature be used to project influences of climate change on stream temperature? *Environ Res Lett*. 2014;9(8).
 34. Troy, R.; Erickson; Heinz G. S. Linear Air/Water Temperature Correlations For Streams During Open Water Periods. 2000;(July):317–21.
 35. Caissie D, El-Jabi N, Satish MG. Modelling of maximum daily water temperatures in a small stream using air temperatures. *J Hydrol*. 2001;251(1– 2):14–28.
 36. Prats, Jordi & Val, Rafael & Arbat-Bofill, Marina & Marti-Cardona, Belen & Ninyerola Chifoni, Daniel & Armengol, Joan & Dolz Ripollés J. Trabajos de seguimiento de la temperatura del agua en el curso inferior del río Ebro (España). 2015;(July).
 37. Montaña H. Comparación De Características Geomorfológicas De Las Cuencas Del Río Atacames Y Súa. 2018;

ANEXOS

Anexo 1. Valores de temperatura con sus respectivos modelos para cada zona de muestreo.

Zonas	Temperatura (°C)												Modelo				
	TMD	MMI	MMA	RMD	TMV	MMIV	MMAV	RMV	TMI	MMII	MMAI	RMI	a	b	alfa	R ₂	RMSE
S1	26.14	24.17	28.02	3.85	25.51	24.17	26.58	2.42	26.77	25.06	28.02	2.96	11.55	0.61	0.39	0.79	0.41
S3	26.07	23.79	27.52	3.72	25.32	23.79	26.56	2.77	26.84	25.91	27.52	1.61	9.56	0.69	0.13	0.39	0.30
S5	25.94	23.59	29.35	5.76	25.15	23.59	26.94	3.35	26.75	24.92	29.35	4.44	8.99	0.71	0.16	0.64	0.58
S7	25.40	23.32	27.15	3.84	24.65	23.32	26.63	3.31	26.17	24.45	27.15	2.70	9.14	0.68	0.47	0.65	0.30
S9	24.31	21.94	26.69	4.75	23.28	21.94	24.75	2.81	25.36	23.85	26.69	2.83	3.09	0.88	0.11	0.79	0.56
A1	26.62	24.08	29.60	5.53	25.76	24.08	27.04	2.96	27.50	25.48	29.60	4.13	8.27	0.77	0.51	0.78	0.53
A3	26.29	24.46	27.56	3.10	25.73	24.46	27.10	2.65	26.87	25.13	27.56	2.44	12.74	0.56	0.05	0.42	0.31
A5	26.59	24.04	29.50	5.46	25.62	24.04	28.08	4.04	27.59	25.19	29.50	4.31	4.84	0.91	0.11	0.62	0.48
A10	23.87	22.07	25.88	3.81	23.01	22.07	23.94	1.87	24.74	23.46	25.88	2.42	5.89	0.75	0.18	0.90	0.21

Temperatura media diaria (TMD), la temperatura media diaria mínima y máxima (MMI y MMA), la temperatura media de Verano e Invierno (TMV y TMI), la temperatura media mínima y máxima de verano (MMIV y MMAV) e invierno (MMII y MMAI) el rango de temperatura media diaria (RMD), el rango de temperatura media de invierno y verano (RMV y RMI).

Anexo 2. Pruebas estadísticas para las diferentes variables de análisis.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj CV	Valor	3285 0,44	0,44
<u>4,03</u>						

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2756,01			5	551,20	513,03 <0,0001
Zona	2560,40			2	1280,20	1191,55 <0,0001
Río	56,14			1	56,14	52,25 <0,0001
Zona*Río	196,02			2	98,01	91,22 <0,0001
Error	3522,95		3279	1,07		
Total	6278,96		3284			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10822

Error: 1,0744 gl: 3279

Zona Mediasn E.E.

Alta 24,10 730 0,04 A

Media 26,14 1095 0,03 B

Baja 26,28 1460 0,03 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07142

Error: 1,0744 gl: 3279

Río Medias n E.E.

Súa 25,37 1825 0,03 A Atacames 25,64 1460 0,03

B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,18973

Error: 1,0744 gl: 3279

Zona Río Medias n E.E.

<u>Alta Atacames</u>	<u>23,87</u>	<u>365</u>	<u>0,05</u>	<u>A</u>	
<u>Alta Súa</u>	<u>24,32</u>	<u>365</u>	<u>0,05</u>		<u>B</u>
<u>Media Súa</u>	<u>25,67</u>	<u>730</u>	<u>0,04</u>		<u>C</u>
<u>Baja Súa</u>	<u>26,11</u>	<u>730</u>	<u>0,04</u>		<u>D</u>
<u>Baja Atacames</u>	<u>26,46</u>	<u>730</u>	<u>0,04</u>		<u>E</u>
<u>Media Atacames</u>	<u>26,60</u>	<u>365</u>	<u>0,05</u>		<u>E</u>
<u>Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)</u>					

T de Student

Temperatura del aire vs temperatura del agua

Aire Diario

Agua Diario

N: 371

N: 338

Mean: 25,23

Mean: 25,733

95%: (25,093 25,367)

95%: (25,628 25,838)

Var.: 1,8014

Var.: 0,9593

95% conf. for difference between means: (0,32802 0,67737)

Bootstrapped: (0,32954 0,67474)

TESTS

F: 1,8778 p(same): 5,3597E-09 t: -5,6502

p(same): 2,3239E-08

Uneq. var t -5,7311 p(same): 1,5036E-08

Permutation t test (N=9999): p(same): 0,0001

Aire Semanal

Agua Semanal

N: 53

N: 53

Mean: 25,218

Mean: 25,687

95%: (24,878 25,558)

95%: (25,43 25,943)

Var.: 1,5234 Var.: 0,8645

95% conf. for difference between means: (0,047953 0,8898)

Bootstrapped: (0,050232 0,89025)

TESTS

F: 1,7622 p(same): 0,043419

t: -2,209 p(same): 0,029372

Uneq. var t -2,209 p(same): 0,029541

Permutation t test (N=9999): p(same): 0,031

Aire Mensual Agua Mensual

N: 13 N: 13

Mean: 25,145 Mean: 25,669

95%: (24,382 25,908) 95%: (25,112 26,226)

Var.: 1,5963 Var.: 0,84952

95% conf. for difference between means: (-0,37158 1,4189)

Bootstrapped: (-0,28445 1,3471)

TESTS

F: 1,8791 p(same): 0,28845 t: -1,2072

p(same): 0,2391

Uneq. var t -1,2072 p(same): 0,24019

Permutation t test (N=9999): p(same): 0,2389

Temperatura del río Atacames y río Súa

Súa Diario Atacames Diario

N: 365 N: 365

Mean: 25,574 Mean: 25,846

95%: (25,475 25,673) 95%: (25,747 25,945)

Var.: 0,92282 Var.: 0,92934

95% conf. for difference between means: (0,13215 0,41185)

Bootstrapped: (0,13255 0,41263)

TESTS

F: 1,0071 p(same): 0,9465

t: -3,8184 p(same): 0,00014579

Uneq. var t -3,8184 p(same): 0,00014579

Permutation t test (N=9999): p(same): 0,0002

Súa Semanal Atacames Semanal

N: 53 N: 53

Mean: 25,568 Mean: 25,835

95%: (25,312 25,824) 95%: (25,576 26,094)

Var.: 0,86172 Var.: 0,88237

95% conf. for difference between means: (-0,092079 0,62738)

Bootstrapped: (-0,087716 0,61956)

TESTS

F: 1,024 p(same): 0,9323

 -1,4754 p(same): 0,14311

t:

Uneq. var t p(same):

Permutation t test (N=9999): p(same):

Súa Mensual	Atacames Mensual
N: 13	N: 13
Mean: 25,554	Mean: 25,812
95%: (25,001 26,107)	95%: (25,247 26,376)
Var.: 0,83713	Var.: 0,87256

95% conf. for difference between means: (-0,49111 1,0058)
 Bootstrapped: (-0,43438 0,93824)

TESTS

F: 1,0423	p(same): 0,94395 t: -0,70968
p(same): 0,48474	
Uneq. var t -0,70968	p(same): 0,48474
Permutation t test (N=9999):	p(same): 0,4805

Temperatura de verano vs invierno

Verano Diario	Invierno Diario
N: 181	N: 181
Mean: 24,874	Mean: 26,51
95%: (24,802 24,945)	95%: (26,437 26,583)
Var.: 0,23917	Var.: 0,25003

95% conf. for difference between means: (1,5342 1,7387)
 Bootstrapped: (1,534 1,7382)

TESTS

t:	
Uneq. var t	p(same):
Permutation t test (N=9999):	p(same):

F:	1,0454	p(same): 0,76598
	-31,478	p(same): 2,0712E-105
	-31,478	2,1827E-105
		0,0001

SAMPLES

Verano Semanal	Invierno Semanal
N: 26	N: 26
Mean: 24,869	Mean: 26,497
95%: (24,692 25,046)	95%: (26,302 26,691)
Var.: 0,19255	Var.: 0,23111

95% conf. for difference between means: (1,371 1,8837)
 Bootstrapped: (1,3803 1,8679)

TESTS

F: 1,2002	p(same): 0,65166 t: -12,749
	p(same): 2,4833E-17
Uneq. var t -12,749	p(same): 2,8672E-17
Permutation t test (N=9999):	p(same): 0,0001

Verano Mensual	Invierno Mensual
N: 6	N: 6
Mean: 24,896	Mean: 26,514
95%: (24,414 25,378)	95%: (26,027 27)
Var.: 0,21099	Var.: 0,21495

95% conf. for difference between means: (1,0244 2,2117)
 t:

Uneq. var t	p(same):
Permutation t test (N=9999):	p(same):

Bootstrapped: (1,1385 2,0808)

TESTS

F:	1,0188	p(same): 0,98423
	-6,0728	p(same): 0,00011993
	-6,0728	0,00011997
		0,0005

t:

Uneq. var t	p(same):
-------------	----------

Permutation t test (N=9999):	p(same):
------------------------------	----------

Temperatura media diaria (TMD), la temperatura media diaria mínima y máxima (MMI y MMA), la temperatura media de Verano e Invierno (TMV y TMI), la temperatura media mínima y máxima de verano (MMIV y MMAV) e invierno (MMII y MMAI) el rango de temperatura media diaria (RMD), el rango de temperatura media de invierno y verano (RMV y RMI).