



ANEXO 1

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
CON EL FINANCIAMIENTO DEL FEDU

1. Título del proyecto

MODELADO MATEMÁTICO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO COATA POR VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO TOROCOCHA EN ÉPOCA DE AVENIDAS EN PUNO

2. Área de Investigación

| Área de investigación | Línea de Investigación | Disciplina OCDE |
|-----------------------|------------------------|-----------------|
| Matemáticas | Matemática Aplicada | |

3. Duración del proyecto (meses)

12 meses

4. Tipo de proyecto

| | |
|----------------------------|----------------------------------|
| Individual | <input type="radio"/> |
| Multidisciplinario | <input checked="" type="radio"/> |
| Director de tesis pregrado | <input type="radio"/> |

4. Datos de los integrantes del proyecto

| | |
|---------------------|-----------------------------|
| Apellidos y Nombres | CONDORI CONCHA MARTIN |
| Escuela Profesional | CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS |
| Celular | 983902060 |
| Correo Electrónico | mcondoric@unap.edu.pe |

| | |
|---------------------|------------------------------|
| Apellidos y Nombres | BENAVIDES HUANCA JUAN CARLOS |
| Escuela Profesional | CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS |
| Celular | 951769270 |
| Correo Electrónico | Juancaben@gmail.com |

| | |
|---------------------|-----------------------------|
| Apellidos y Nombres | MONZON ASTETE ESMER |
| Escuela Profesional | CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS |
| Celular | 973268716 |
| Correo Electrónico | Juancaben@gmail.com |

I. Título del proyecto.

MODELADO MATEMÁTICO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO COATA POR VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO TOROCOCHA EN ÉPOCA DE AVENIDAS EN PUNO

II. Resumen del Proyecto

La presente investigación tiene como objetivo principal obtener el Modelo del Índice de calidad del agua del río Coata por vertimiento de aguas residuales del río Torococha de la región Puno, durante la época de Avenidas de 2018. Para el modelamiento, se utilizará la regresión lineal múltiple a través del método de estimación de mínimos cuadrados ordinarios, y para seleccionar el mejor modelo de regresión, se usará el método STEPWISE. Cuyo modelo matemático será: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_{12}) + \varepsilon$, donde y es el Índice de calidad del agua del río Coata por vertimiento de aguas residuales del río Torococha (variable dependiente); x_1, x_2, \dots, x_{12} son temperatura, oxígeno disuelto, DBO₅, color, dureza total, nitratos, cloruros, conductividad, alcalinidad, pH, Coliformes totales y Coliformes fecales (variables independientes, y ε error aleatorio que contiene el efecto sobre y de todos los parámetros físico químicos y bacteriológicos del agua en épocas de avenidas y estiajes distintas de x_1, x_2, \dots, x_k . La metodología consiste en determinar el Índice de calidad del agua río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha de Juliaca, en época de avenidas, mediante el método propuesto por Dinus (1985) de acuerdo a las recomendaciones establecidas por los métodos normalizados para el análisis de agua potable y residuales (APHA-AWWA-WPCF, 1992). Luego se analizará los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha, en épocas de avenidas y estiajes, las muestras monitoreadas en los puntos AM-01; PM-02; DM-03; DM-04 en el río Coata y AT-05 en río Torococha. Las muestras se analizarán en los laboratorios de ingeniería ambiental de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de Juliaca, para obtener el modelo del Índice de calidad del agua río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha de Juliaca en época de avenidas.

III. Palabras claves (Keywords)

Modelo Matemático, índice de Calidad del agua, época de avenidas, ICA-DINIUS, Río Coata.

IV. Justificación del proyecto

El índice de calidad de agua (ICA) es una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado. En general, el ICA incorpora datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua (Yogendra & Puttaiah, 2008). Por medio del ICA se puede realizar un análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles. Sin embargo, las características como físico-químicas y microbiológicas, se ven afectadas por las actividades humanas, en algunos casos de forma irreversible (Wu y Chen, 2013; Keck et al., 2016). La calidad de agua del río Coata por influencia de aguas residuales del río Torococha, sin ningún tratamiento de las aguas residuales del río Torococha de Juliaca es la fuente de mayor contaminación antropogénica y esto llega al Río Coata que desciende por varias comunidades de los distritos de Juliaca y Caracoto que están próximos al río Coata y desembocan en el Lago Titicaca. Por tanto necesita determinar la variación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de las aguas del río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha en épocas de avenidas y estiajes; determinar la variación de la calidad del agua río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha de Juliaca, en época de avenida. Y finalmente obtener la ecuación de la modelación del Índice de calidad del agua río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha en época de avenidas.

V. Antecedentes del proyecto

Al presente, son escasos los estudios e investigaciones sobre la determinación del Modelo Matemático del Índice de calidad del agua del río por vertimiento de aguas residuales, en épocas de Avenidas y Estiajes a nivel nacional e internacional, siendo uno de los primeros trabajos en los modelos de regresión múltiple han sido usados para encontrar ecuaciones que permiten predecir o controlar variables que afectan la calidad del agua como, por ejemplo, los sólidos disueltos totales (Chenini & Khemiri, 2009); los modelos de ecuaciones estructurales permiten estudiar, de



manera simultánea, las relaciones evaluadas en la regresión múltiple y las relaciones entre las variables observadas (endógenas y exógenas) y factores no observados o latentes, constituyéndose en una combinación del análisis factorial y la regresión múltiple, muy útil para estudiar por completo un ecosistema (Grace, et al., 2010); análisis de correlación canónica es ampliamente usado en calidad de aguas con el fin de estudiar las relaciones entre grupos de parámetros, entregando dos vectores de variables, uno que representa las variables endógenas y otro las exógenas, con la particularidad de que la correlación entre estos vectores es máxima, se ha usado en calidad de aguas por ejemplo estudiando las relaciones entre los parámetros físicos (vector que representa las variables exógenas) y químicos (vector que representa las variables endógenas) (Noori et al., 2010); en Antioquia-Colombia la Revisión de los métodos estadísticos multivariados usados en el análisis de calidad de aguas (Gómez M. Indira & Peñuela M. Gustavo, 2016). Sin embargo, se han estudiado indicadores de la calidad del agua usando estadística aplicada en el cual se obtiene la valoración y evaluación de la calidad del agua, empleado diversas metodologías entre las que se incluyen: comparación de las variables con la normatividad vigente; los indicadores ICA, a partir de un grupo de variables medidas, se genera un valor que califica y cualifica la fuente, y metodologías más elaboradas como la modelación. (Valdés, Samboni Carvajal, 2011). En Guatemala el 90% de las fuentes de abastecimiento del agua urbana son rurales los 70% superficiales proveniente de los ríos: Chitá, Ixconá-Sis y Socobá del cuenca alta Sis Iacán, Vertiente del Pacífico, para evaluar la calidad de agua para el consumo humano y el usos de otra actividades. Se tomaron dos muestras en cada río para medirla las variables NO₃, SO₄, Fe, Cl, Mn, dureza, Coliformes totales y Coliformes fecales en el cual se usó el índice de contaminación, el promedio de los coeficientes entre el valor observado y su respectivo límite máximo permitido, llegando a la conclusión que en los tres ríos existen contaminación con contaminantes químicos, Coliformes totales y fecales. (M. Chán Santisteban & W. Peña, 2014). El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un cercano o igual a 0%, en tanto que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%. (Guillén, Teck, Kohlmann & Yeomans, 2012).



VI. Hipótesis del trabajo (Es el aporte proyectado de la investigación en la solución del problema)

Es posible determinar la modelación matemático del índice de calidad del agua del río Coata por vertimiento de aguas residuales del río Torococha influye en la época de avenidas

VII. Objetivo general

Determinar el Modelo Matemático para el Índice de calidad del agua del río Coata por vertimiento de aguas residuales del río Torococha de la región Puno, en época de Avenida.

VIII. Objetivos específicos

- Determinar la variación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de las aguas del río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha en época de avenida.
- Determinar la variación de la calidad del agua río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha de Juliaca, en época de avenida.
- Obtener la ecuación de la modelación del Índice de calidad del agua río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha de Juliaca, en época de avenida.

IX. Metodología de investigación

• **Ámbito de estudio**

La investigación se realizará en la cuenca baja de Coata específicamente en el río Torococha de Juliaca y río Coata que encuentra ubicados en los distritos de Juliaca y Caracoto, en la Región de Puno.

• **Población y muestra**

De acuerdo al objeto de estudio o unidad de análisis, la presente investigación no contempla población y muestra; sin embargo, para efecto del cumplimiento de los objetivos, se establece los puntos de muestreo codificados, tal como se observa en la tabla 3 y la Figura 01

Tabla 3 Ubicación y puntos de monitoreo de la trayectoria del río Coata y riachuelo Torococha, época de avenidas 2018.

| Punto de muestreo | Ubicación UTM | | | Denominación de la zona | Código |
|-------------------|---------------|---------------|---------|--|---------|
| 01 | E:38523 6 | N: 8286547 | Z: 3829 | Puente Churi. | AM - 01 |
| 02 | E:38518 8 | N: 8285428 | Z: 3824 | Punto de mezcla río Coata - Torococha | PM - 02 |
| 03 | E:38600 0 | N: 8285668 | Z: 3826 | Límite Canchi Grande - Canchi Chico | DM - 03 |
| 04 | E:38906 8 | N: 8283082 | Z: 3828 | A 4092 metros del punto de muestreo 0. | DM - 04 |
| 05 | E:38517 2 | N: 8285333 | Z: 3826 | Puente río Torococha | AT - 05 |

Fuente: Elaborado por el investigador.

Figura 1. Ubicación de los puntos de monitoreo en ríos Torococha y Coata, 2018.

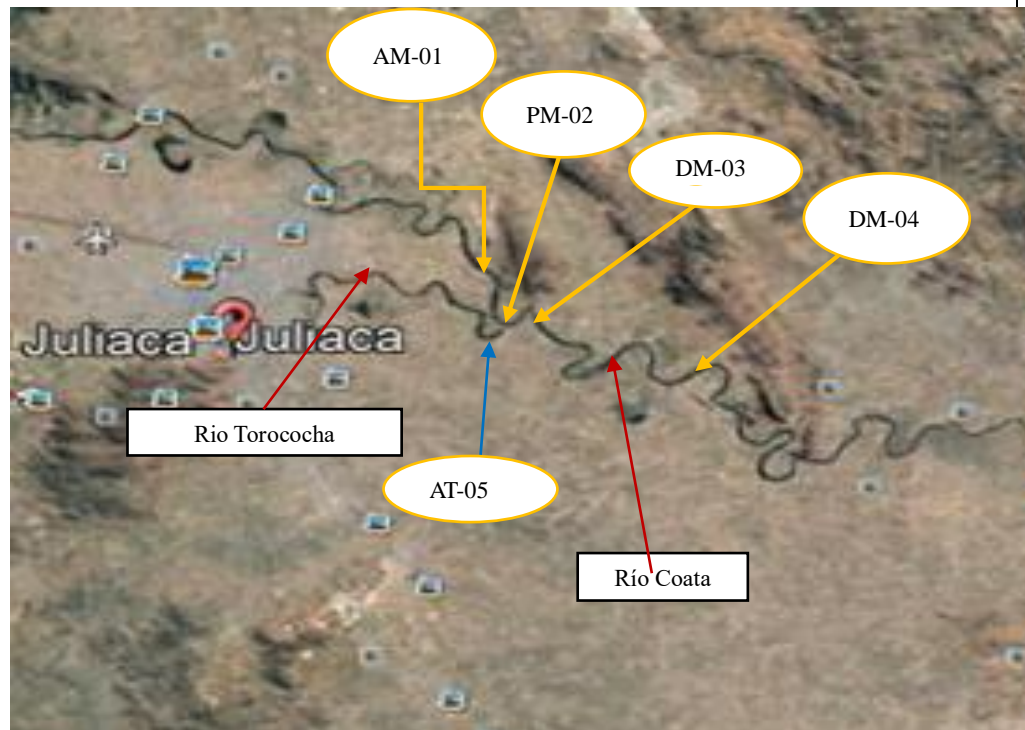


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el río Coata, 2018.
Fuente: Google Earth. Elaborado por el Investigador.

- **Descripción de métodos por objetivos específicos**

- Para determinar el Índice de calidad del agua río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha de Juliaca, en épocas

de avenidas y estiajes. se obtendrá mediante la ecuación de ICA – DINIUS (1987) con los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en los laboratorios en épocas de avenidas.

- Para analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha de Juliaca, en época de avenidas, se tomara muestras en puntos AM-01; PM-02; DM-03; DM-04 en el río Coata y AT-05 en río Torococha, para obtener los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los laboratorios de ingeniería ambiental de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de Juliaca.
- Para obtener la modelo del Índice de calidad del agua río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha de Juliaca para las épocas de avenidas y estiajes, se utilizara la ecuación de regresión múltiple, mediante el método STEPWISE, en base a las valoraciones del Índice de calidad del agua río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha.

- **Aplicación de prueba estadística de inferencia.**

Para el análisis de la información, la investigación utilizará el modelo de regresión múltiple para la época de avenidas (lluvia), cuyo modelo es el siguiente:

El modelo matemático, aplicando región lineal múltiple es:

$$ICA_{DINIUS} = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \beta_4 x_{i4} + \beta_5 x_{i5} + \beta_6 x_{i6} + \beta_7 x_{i7} + \beta_8 x_{i8} + \beta_9 x_{i9} + \beta_{10} x_{i10} + \beta_{11} x_{i11} + \beta_{12} x_{i12} + \varepsilon_i$$

Donde:

x_{i1} : Temperatura en cada punto de muestra.

x_{i2} : Oxígeno disuelto en cada punto de muestra.

x_{i3} : DBO₅ en cada punto de muestra.

x_{i4} : Color s en cada punto de muestra.

x_{i5} : Dureza Total en cada punto de muestra.

x_{i6} : Nitratos en cada punto de muestra.

x_{i7} : Cloruros en cada punto de muestra.

x_{i8} : Conductividad en cada punto de muestra.

x_{i9} : Alcalinidad en cada punto de muestra.

x_{i10} : pH en cada punto de muestra.

x_{i11} : Coliformes Totales en cada punto de muestra.

x_{i12} : Coliformes Fecales en cada punto de muestra. Con $i = 1, 2, 3, 4$ y 5

β_i : Son parámetros desconocidos que vamos a estimar; $i = 0, 1, 2, 3, \dots, 12$.

ε_i : Error aleatorio, $i = 1, 2, 3, \dots, 20$.

Para el procesamiento de la información, se utilizará el software estadístico R, para comprobar los supuestos de normalidad de los datos, además verificar el cumplimiento de la homogeneidad de las varianzas del modelo.

X. Referencias (Listar las citas bibliográficas con el estilo adecuado a su especialidad)

1. Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2012). Water Quality Indices. Elsevier Science.
2. Alatorre LC, Amado-Álvarez JP, Ramírez-Valle O (2013) Modelo predictivo de la calidad del agua en reservorios de Chihuahua mediante percepción remota. En Dinámicas locales del cambio ambiental global Aplicaciones de percepción remota y análisis espacial en la evaluación del territorio, Eds. Erick Sánchez Flores y Rolando Díaz Caravantes. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Cd. Juárez, Chihuahua, México. pp: 319-337
3. Aziz, J. A. & Tebbutt, T. H. (1980). Significance of COD, BOD and TOC correlations in kinetic models of biological oxidation. Water Research, 14(4), 319-324. doi: 10.1016/0043-1354(80)90077-9.
4. Bierman, P., Lewis, M., Ostendorf, B., & Tanner, J. (2011). A review of methods for analysing spatial and temporal patterns in coastal water quality. Ecological Indicators, 11(1), 103-114.
5. Behrends, F., et al. (2014). Estimación de escenarios de contaminación por coliformes fecales en una microcuenca de la Pampa Ondulada de Argentina mediante el empleo de un modelo predictivo. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 46(2), 83-96.



6. Chenini, I., & Khemiri, S. (2009). Evaluation of ground water quality using multiple linear regression and structural equation modeling. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 6(3), 509-519.
7. Fernández, N., Ramírez, A., Solano, F. (2003). Índices Físicoquímicos de Calidad de Agua un Estudio Comparativo. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: para la vida y el Desarrollo Sostenible, Cali, Valle del Cauca
8. Gómez M. & Peñuela G. (2016). A review of multivariate statistical methods for analysing water Quality, Review Article, Vol. 6 pp. 54-63.
9. Hair, J. F. (2010). *Multivariate Data Analysis* (7th ed.). Prentice Hall.
10. Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2002). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (5th ed.). Prentice Hall.
11. Liu, Z.-J., Hallberg, G. R., & Malanson, G. P. (1997). Structural Equation Modeling of Dynamics of Nitrate Contamination in Ground Water1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 33(6), 1219-1235.
12. Noori, R., Sabahi, M. S., Karbassi, A. R., Baghvand, A., & Taati Zadeh, H. (2010). Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. *Desalination*, 260(1-3), 129-136.
13. Pinilla C. (2003). Indicadores de contaminación fecal en aguas. En: *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. RIPDA- CYTED© CYRA-UAEM Cap. 20. México. pp. 30-239.
14. Pinilla, G. (2010). An index of limnological conditions for urban wetlands of Bogotá City, Colombia. *Ecological Indicators*, 10, 848-856. doi: 10.1016/j.ecolind.2010.01.006.
15. Rajankar PN, Tambekar DH, Wate SR (2011) Groundwater quality and water quality index at Bhandara District. *Environmental Monitoring Assessment* 179: 619-625.
16. Rencher, A. C. (2003). *Methods of Multivariate Analysis*. (2003 John Wiley & Sons, Ed.) (second edi). Wiley-Interscience.



17. Rosemond S, Duro DC, Dubé M (2008) Comparative analysis of regional water quality in Canada using the water quality index. *Environmental Monitoring Assessment* 156: 223-240.
18. Rubio-Arias H, Ochoa-Rivero JM, Quintana RM, Saucedo-Teran R, Ortiz-Delgado RC, Rey-Burciaga NI, Espinoza-Prieto JR (2013) Development of a water quality index (WQI) of an artificial aquatic ecosystem in Mexico. *Journal of Environmental Protection* 4: 1296-1306.
19. Rubio-Arias H, Quintana C, Jiménez-Castro J, Quintana RM, Gutiérrez M (2010) Contamination of the Conchos river in México; does it pose a health risk to local residents. *International Journal of Environmental Resources and Public Health* 7: 2071-2084.
20. Sandoval VAM, Pulido-Flores G, Monks S, Gordillo AJ, Villegas EC. (2009) Evaluación físico-química, microbiológica y toxicológica de la degradación ambiental del Río Atoyac, México. *Inter ciencia* 34: 880-887. S.
21. Seghezze, L. (2012). Exposición de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. Trabajo expuesto en "Curso Internacional: Tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas e industriales". Realizado en Lima del 2 al 8 de Mayo del 2012.
22. Shrestha, S., & Kazama, F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22(4), 464-475.
23. Soni, H. B. & Thomas, S. (2014). Assessment of surface water quality in relation to water quality index of tropical lentic environment, Central Gujarat, India. *International journal of environment*, 3(1), 168-176.
24. Superintendencia nacional de servicios de saneamiento (2008). Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución. Perú: Biblioteca Nacional del Perú.
25. Torres, P.; Cruz, C. H. & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano una revisión crítica. *Revista Ingenierías*, 8(15), 79-94.



26. Varol, M., Gökot, B., Bekleyen, A., & Şen, B. (2012). Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey. CATENA, 92(0), 11-21.
27. Wu, E., Tsai, C., Cheng, J., Kuo, S., & Lu, W. (2014). The Application of Water Quality Monitoring Data in a Reservoir Watershed Using AMOS Confirmatory Factor Analyses. Environmental Modeling & Assessment, 19(4), 325-333.
28. Zhen-Wu, B. 2009. Calidad fisico-quimica y bacteriologica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubande, Guanacaste, Costa Rica, ano hidrológico 2007-2008. Tesis Mag. Sc. San Jose, Costa Rica, UNED. 204 p.
29. Zou, S., & Yu, Y.-S. (1994). A general structural equation model for river water quality data. Journal of Hydrology, 162(1-2), 197-209.

XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto (Señalar el posible uso de los resultados y la contribución de los mismos)

- Determinación del modelo matemático en época de avenidas (lluvias) del índice de calidad de agua para la region Puno.
- Mejora el índice de calidad de agua para consumo humano, animales y agricultura

XII. Impactos esperados

i. Impactos en Ciencia y Tecnología

- Mejora en el desarrollo del conocimiento científico en el área de medio ambiente.
- Familiarización con el modelo matemático para el índice de calidad de agua en época de avenidas (lluvias) en la region Puno.

ii. Impactos económicos

Optimización y mejoramiento del índice de calidad de agua en la region Puno.

iii. Impactos sociales

Motivación por partes de los actores en modelo matemático para medio ambiente.



iv. Impactos ambientales

Mejoramiento en índice de calidad de agua en la protección de su medio ambiente

XIII. Recursos necesarios

FEDU, Universidad Nacional del Altiplano

XIV. Localización del proyecto

Región Puno

XV. Cronograma de actividades

| Actividad | Trimestres | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | |
| Elaboración del plan de trabajo | X | X | X | | | | | | | | | | |
| Obtención de Analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiologías del río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha | | | | X | X | X | | | | | | | |
| Obtención datos del Índice de calidad del agua río Coata por influencia del vertimiento de las aguas residuales del río Torococha de Juliaca, en época de avenidas | | | | | | | X | X | X | | | | |
| Procesamiento de la información. | | | | | | | | | | X | X | X | |

XVI. Presupuesto

| Descripción | Unidad de medida | Costo Unitario (S/.) | Cantidad | Costo total (S/.) |
|---|------------------|----------------------|----------|-------------------|
| Papel A4 | millar | 17 | 5 | 85 |
| Papel bond | millar | 10 | 4 | 40 |
| Material bibliográfico físico y digital | texto | 120 | 30 | 1800 |
| Software informático | Unidad | 1 | 300 | 300 |
| Datos de Análisis físico - químico y microbiológicos en laboratorio | Unidad | 8 | 100 | 800 |
| Procesamiento de información | Unidad | 0.08 | 1000 | 80 |
| Imprevistos | Unidad | 1 | 250 | 250 |