

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**DEPARTAMENTO ACADEMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES AMBIENTAL**



**INDICE DE CALIDAD DE AGUA DE TRES POZOS ARTESIANOS QUE  
ABASTECEN A LA COMUNIDAD NATIVA PUEBLO NUEVO, UCAYALI**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

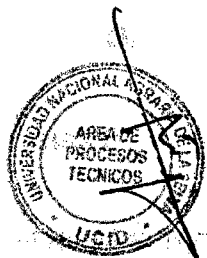
**INGENIERO AMBIENTAL**

**KANDY ROCIO SANTA CRUZ PRADO**

**PROMOCION 2012-II**

**Tingo María - Perú**

**2013**



**P10**

**S21**

**Santa Cruz Prado, Kandy Rocío**

Índice de calidad de agua de tres pozos artesianos que abastecen a la comunidad nativa Pueblo Nuevo, Ucayali - Tingo María 2013

99 páginas; 37 cuadros; 14 figuras; 17 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniería Ambiental) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

**1. CALIDAD DEL AGUA      2. POZOS      3. ARTESIANOS**

**4. TURBIDEZ      5. PARÁMETROS      6. MUESTREO**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Tingo María – Perú.



**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 10 de diciembre del 2013 a horas 2:20 p.m., en la Sala de Grados de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, para calificar la Tesis titulada:

### **“INDICE DE CALIDAD DEL AGUA DE TRES POZOS ARTESIANOS QUE ABASTECEN A LA COMUNIDAD NATIVA PUEBLO NUEVO, UCAYALI ”**

presentada por la Bachiller **KANDY ROCIO SANTA CRUZ PRADO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, la sustentante queda Apta para optar el Título de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

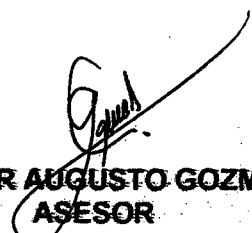
Tingo María, 12 de diciembre del 2013.

  
**INGENIERO CÉSAR SAMUEL LÓPEZ LÓPEZ**  
PRESIDENTE



  
**INGENIERO MSc. SANDRO JUNIOR RUIZ CASTRE**  
VOCAL

  
**INGENIERO MSc. ERLE BUSTAMANTE SCAGLIONI**  
VOCAL

  
**INGENIERO BLGO. CÉSAR AUGUSTO GOZME SULCA**  
ASESOR

## DEDICATORIA

A mis padres Jairo y Rocío; por darme la vida y amor, y que a pesar de las dificultades de la vida permitieron mi anhelo de ser profesional. A mi hermanito por ser la persona que me motiva a seguir, y a sentirme cada día orgullosa de él.

A mi tía Celia Prado Seijas, por todo su amor brindado hacia mi persona, por estar siempre en los momentos más importantes de mi vida y por su apoyo en el logro de mis objetivos.

A mis abuelitos Aida Ibañez de Santa Cruz, Máximo Santa Cruz Alva, Rosario Seijas Rodríguez y Enrique Prado Velazco; por su comprensión y tierno amor y confianza puesta en mí.

A mis tías Juana Prado Velazco, Jeny Prado Cornelio, Mirian Paredes y tíos Miguel Dávila, Aníbal Prado por todos sus consejos y apoyo en el logro de mis objetivos.

## **ESPECIAL AGRADECIMIENTO**

Al Dr. Sc. Bioing. Btclgo. Mtblgo. César Samuel López López,  
profesor y amigo quién siempre estuvo atento a mis  
inquietudes y desalientos y con sanos consejos e inagotables  
conversaciones permitió sobrellevar situaciones en las que  
necesitaba encontrarme a mi misma y entender lo valiosa  
que soy para Dios, mi familia y mi país.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios Padre, por concederme la vida, la familia y la oportunidad de progresar profesionalmente.

A mi alma máter, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Ingeniería Ambiental y plana docente, por la contribución en mi formación como profesional.

Al Blgo. César Augusto Gozme Sulca, asesor de la investigación; por su exigencia, orientación y confianza que me brindó en la realización de la investigación.

Al Ingeniero Richard Sías Rodríguez, por su amistad e incomparable apoyo para la realización de la investigación.

A mis amigos y compañeros de estudios Conni, Gina, Sthepani, Perla, Mariela, Miguel y Ledyn, quienes con su entrañable amistad, comprensión y consejos hicieron más positiva mi permanencia en las aulas universitarias.

A todos los que a pesar de no compartir conmigo momentos de dicha o tristeza, con su indiferencia moldearon mi carácter y personalidad profesional.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Marco legal para la evaluación de la calidad de agua .....	4
2.2. El agua subterránea .....	5
2.3. El acuífero.....	7
2.4. Calidad del agua subterránea.....	9
2.5. Índice de calidad de agua.....	10
2.6. Clasificación de los índices de calidad del agua .....	11
2.7. Usos de los índices.....	13
2.8. Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) de los EE.UU.....	14
2.9. Componentes de la calidad del agua.....	18
2.10. Contaminación de agua subterránea.....	26
2.11. Estudios de aguas subterráneas en la costa, sierra y selva.....	27
2.12. Antecedentes uso del índice de calidad del agua.....	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1. Ubicación de la zona de estudio.....	37

3.2. Aspectos meteorológicos.....	38
3.3. Unidades experimentales.....	38
3.4. Parámetros de estudio según la NSF.....	38
3.5. Toma de muestra.....	39
3.6. Parámetros microbiológicos: NMP coliformes fecales .....	40
3.7. Parámetros físicos-químicos.....	42
3.8. Determinación del Índice de calidad del agua.....	47
3.9. Diseño experimental.....	48
3.10. Ajuste estadístico.....	52
IV. RESULTADOS.....	53
V. DISCUSIÓN.....	87
VI. CONCLUSIONES.....	94
VII. RECOMENDACIONES.....	96
VIII. ABSTRACT.....	97
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
ANEXO.....	103



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Pesos ponderados finales de cada variable (parámetro) en la determinación del ICA-NSF.....	17
2. Escala de colores representando la calidad del agua según el rango de clasificación ICA – NSF.....	17
3. Parámetros para la determinación de la ICA-NSF.....	39
4. Composición de los tratamientos del estudio.....	50
5. Análisis de Variancia (ANVA).....	51
6. Promedio de Coliformes fecales (NMP/100ml) en el Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN.Pueblo Nuevo del Caco Ucayali.....	53
7. Promedio de Coliformes fecales (NMP/100ml) en el Turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN.Pueblo Nuevo del Caco - Ucayali.....	54
8. Promedio de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) del Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco - Ucayali.....	56
9. Promedio de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) del Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco Ucayali.....	57
10. Promedio de Oxígeno disuelto (OD) del Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo	

	del Caco – Ucayali.....	58
11.	Promedio de Oxígeno disuelto (OD) del Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	59
12.	Promedio de Nitratos (mg/L) del Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN.Pueblo Nuevo del Caco Ucayali.....	61
13.	Promedio de Nitratos (mg/L) del Turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN.Pueblo Nuevo del Caco-Ucayali.....	62
14.	Promedio del pH del turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco-Ucayali...	63
15.	Promedio del pH del turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco-Ucayali...	64
16.	Promedio de la temperatura ambiente en el Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC. NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	65
17.	Promedio de la temperatura ambiente en el Turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC. NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	66
18-	Promedios de la temperatura de agua en el turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	68
19.	Promedios de la temperatura de agua en el Turno tarde del agua	

	de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del caco – Ucayali.....	69
20.	Promedio de sólidos totales en el Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco.....	70
21.	Promedio de sólidos totales en el turno tarde del agua de tres pozos de agua de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	71
22.	Promedios de fosfato (mg/L) en el turno mañana del agua de tres Pozos de agua de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	73
23.	Promedios de fosfato (mg/L) en el turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN.Pueblo Nuevo Ucayali.....	74
24.	Promedio de la turbidez (UNT) en el turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	75
25.	Promedio de la turbidez (UNT) en el turno tarde del agua de tres pozos de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	76
26.	Promedio de los parámetros medidos en Pozo 1 para determinar el índice de calidad del agua (ICA).....	77
27.	Hoja de cálculo para el índice NSF, determinado en ICATest v.1,0.....	78
28.	Resultado del cálculo del índice de calidad del agua (ICA),	

	Determinado en ICATest v. 1,0.....	78
29.	Promedio de los parámetros medidos en Pozo 2 para determinar el índice de calidad del agua (ICA).....	80
30.	Hoja de cálculo para el índice NSF, determinando en ICATest v.1,0 para el agua del pozo 2 de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	80
31.	Resultado del cálculo del índice de calidad del agua del pozo 2 (ICA), determinado en ICATest v. 1,0.....	81
32.	Promedio de los parámetros medidos en Pozo 3 para determinar el Índice de Calidad del agua (ICA).....	82
33.	Hoja de cálculo para el índice NSF, determinando en ICATest v.1.0 para el agua del pozo 3 de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	83
34.	Resultado del cálculo del índice de calidad del agua del pozo 3 (ICA), determinado en ICATest v. 1.0.....	83
35.	Determinación del ICA general de los tres pozos de agua que abastecen a la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	85
36.	Hoja de cálculo para el índice NSF, determinando en ICATest v.1,0 para el agua del pozo 3 de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	85
37.	Resultado del cálculo del índice de calidad del agua de los pozos (ICA), determinado en ICATest v. 1,0. que abastecen a la CC.NN.Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Promedio de coliformes fecales determinados en el agua de tres pozos de Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	55
2. Promedio de DBO <sub>5</sub> determinados en tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo-del Caco - Ucayali.....	57
3. Promedio de OD (% de saturación) determinado en tres pozos de comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco-Ucayali.....	60
4. Promedios de determinación de Nitratos (mg/L) en agua de tres pozos de comunidad nativa de Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	62
5. Promedio del pH del agua determinados en tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	64
6. Promedio de las temperaturas ambientales de los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	67
7. Promedio de la temperaturas del agua de los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	69
8. Promedios de la determinación de sólidos disueltos totales (SDT) en los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	72
9. Promedios de la determinación de fosfatos (mg/L) en los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco –	

	Ucayali.....	74
10.	Promedios de la determinación de turbidez (UNT) en los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	75
11.	Parámetros promedios medidos para calcular el ICA del pozo 1 de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco– Ucayali.....	79
12.	Parámetros promedios medidos para calcular el ICA del pozo 2 de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.....	81
13.	Parámetros promedios medidos para calcular el ICA del pozo 2 de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco– Ucayali.....	84
14.	Promedio total de parámetros medidos en el agua de los pozos de CC.NN.Pueblo Nuevo – Ucayali, para calcular el ICA total.....	86

## RESUMEN

La investigación se realizó en la comunidad nativa de Pueblo Nuevo del Caco- Ucayali, procesándose muestras de agua de tres pozos, los cuales no han recibido mantenimiento, para establecer el índice de calidad del agua que abastece a dicha comunidad. Se aplicó el protocolo de determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA) de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) de los Estados Unidos con nueve criterios de valoración: coliformes fecales (CF), demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (% Sat O.D.), pH, cambio de temperatura, fosfatos, nitratos ( $NO_3-N$ ), cantidad de sólidos disueltos totales (SDT) y las unidades nefelométricas de turbidez (UNT).

Los coliformes fecales (27.5 NMP/100 mL), el porcentaje de saturación de O.D. (76.38 % sat) y la valoración de fosfatos (4.44 mg/L) estuvieron fuera de los límites permisibles establecidos y a pesar que los otros criterios estuvieron dentro de los estándares contemplados para agua de uso directo, el ICA –NSF calculado para los pozos estableció que la categoría del agua de los pozos era del rango de 26 – 50 en la escala del color Naranja con un índice de calidad de 31.95 estableciéndose como de Mala Calidad.

El pozo 1, manifestó los más bajos valores de calidad con un índice de 25.57 dentro de un rango de 0 – 25 en la escala del color Rojo con una categoría de Muy Mala.

Se sugiere que los pobladores de la comunidad nativa que consumen el agua de estos pozos, realicen un previo tratamiento convencional del agua entre ello prácticas de ebullición del agua.



## I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más importantes, dado que está presente en todos los aspectos de la vida existentes en la tierra. El agua de los manantiales varía según la naturaleza del suelo o la roca de su lecho. El caudal de los manantiales depende de la estación del año y del volumen de las precipitaciones. Los manantiales de filtración se secan a menudo en periodos secos o de escasas precipitaciones. Un pozo artesiano es aquel tipo de manantial que comunica con un acuífero cautivo de agua, estando el nivel del líquido por encima del nivel freático y se llena con el agua subterránea. El agua se puede extraer por medio de bomba o de forma manual.

Las napas de agua son factibles de distintas contaminaciones producidas por el hombre, esorrentías pluviales, drenajes cloacales, pozos ciegos con pérdidas, perforaciones en los mantos impermeables, basurales próximos a las napas de agua. Las aguas de pozo pueden contener nitratos y nitritos de sodio y de potasio los cuales provienen de la descomposición orgánica y de los fertilizantes.

La calidad del agua puede ser utilizada como una propiedad con la cual se indica si está o no contaminada, ya que se relaciona con las

características físicas, químicas y biológicas. Diversos factores que pueden afectar la calidad del agua como la geología del área, el ecosistema y actividades humanas (las descargas del alcantarillado sanitario, la contaminación industrial, el uso de cuerpos de agua para recreación y el uso excesivo de los recursos de agua).

El Índice de Calidad de Agua (ICA), consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color. Puede ser usado como marco de referencia único para comunicar información sobre la calidad del ambiente afectado y para evaluar la vulnerabilidad o la susceptibilidad del agua a la contaminación (CANTER, 1996).

Las comunidades nativas de nuestro país, especialmente las más alejadas de las poblaciones urbanas, utilizan pozos de agua, que no reciben mantenimiento periódico adecuado y cuyo contenido no es sometido a determinaciones de calidad respecto a su consumo directo.

Por lo mencionado se formula la interrogante ¿Cuál será el índice de calidad del agua (ICA) de tres pozos que abastecen a la comunidad nativa Pueblo Nuevo, Ucayali?, planteándose la hipótesis de que el Índice de Calidad

de agua (ICA) de tres pozos que abastecen a la comunidad nativa Pueblo Nuevo, Ucayali está en el rango 60-70.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Establecer el índice de calidad del agua (ICA) de tres pozos que abastecen a la comunidad nativa Pueblo Nuevo, Ucayali.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua de tres pozos que abastecen a la comunidad nativa Pueblo Nuevo, Ucayali.
- Especificar el nivel de calidad de agua de tres pozos que abastecen a la comunidad nativa Pueblo Nuevo, Ucayali.

## II. REVISION DE LITERARTURA

### 2.1. Marco legal para la evaluación de la calidad de agua

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA) D.S N° 002-2008-MINAM establecen el nivel de concentración de elementos, o parámetros físicos, químicos y biológicos, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no representa riesgos para la salud de las personas ni para el ambiente (EL PERUANO, 2010).

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental clasifican los cuerpos de agua del país respecto a sus usos, ya sean terrestres o marítimos. Para evaluar la calidad de las aguas del pozo situado en el campamento Nuevo Mundo, se tomará como referencia la clasificación según Categoría 1: A2 (Población recreacional – Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional). La Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 menciona que la protección de los recursos hídricos estuvo regulada anteriormente en el Perú por la Ley General de Aguas (Decreto Legislativo N° 17752 y sus Modificaciones), desde el 31 de Marzo del 2009 entró en vigencia la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, que tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión,

así como en los bienes asociados a ésta, promoviendo la gestión integrada de los recursos hídricos con el propósito de lograr eficiencia y sostenibilidad en la gestión por cuencas hidrográficas y acuíferos, para la conservación e incremento de la disponibilidad del agua, así como para asegurar la protección de su calidad.

Posteriormente se publicó la Resolución Jefatural N° 0291-2009-ANA promulgada por la Autoridad Nacional de Agua con vigencia hasta el 31 de marzo del 2010, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, en su artículo 8,1 establece que a partir del 1 de abril del 2010, los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, son referente obligatorio para el otorgamiento de las Autorizaciones de Vertimiento; y en su artículo 3,1 indica que la Autoridad Nacional del Agua, a efecto de asignar la categoría a los cuerpos de agua respecto a su calidad, deberá utilizar las categorías establecidas en los ECA para agua vigentes, es por esto que la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos propuso la clasificación de los cuerpos de agua tomando en cuenta el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y según Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA (EL PERUANO, 2010).

## **2.2. El agua subterránea**

El agua subterránea es aquella que se encuentra, dentro del ciclo hidrológico, yaciendo bajo la superficie del suelo, en condiciones de saturación. El agua subterránea proviene de la infiltración del agua superficial; luego se

mueve, al interior del suelo, en forma vertical descendente (percolación) hasta alcanzar la napa subterránea (zona saturada del suelo). El límite que separa la zona saturada de la no saturada del suelo se denomina nivel freático.

Una porción del agua que cae en el suelo a través de la precipitación se infiltra y luego se percola. Estos procesos llevan a la saturación del suelo cuando en este existe la estructura necesaria para almacenar agua. Así, este proceso provee el agua subterránea de recarga que alimentara a ciertas estructuras de naturaleza geológica que contienen agua, conocidas como acuíferos. La superficie superior de la zona saturada es llamada capa freática o nivel freático (USGS, 2009). Por otro lado se define el agua subterránea como el agua almacenada en el subsuelo en grietas de roca y en los poros de materiales geológicos que conforman la corteza de la Tierra.

En el suelo suceden un gran número de procesos que permiten muchos de los ciclos importantes para el funcionamiento de los ecosistemas, entre estos se encuentran la infiltración, que es la capacidad de un material para permitir el paso de un líquido, como el agua a través de las rocas (USGS, 2009). Esta capacidad se ve afectada por el tipo de suelo presente en una zona específica, por ejemplo la arcilla ralentizará el paso del agua, mientras la arena facilitará que el agua se mueva a través del suelo.

Otro proceso importante es el movimiento que tiene el agua por las distintas aberturas que se presentan en el suelo o algunas rocas, este proceso

se conoce como percolación. “Se asume que la percolación tiene lugar si el contenido de humedad del suelo del horizonte superior excede su capacidad de campo. La tasa de percolación de la capa superior del suelo se considera que incrementa como una función del contenido del agua en el suelo de acuerdo a una ley de poder determinada” (BAPTISTA, 2002).

Un pozo es una perforación o excavación que se realiza en el suelo y cuyo objetivo es la extracción de agua del nivel freático. Existen varios tipos de pozos siendo los más comunes los excavados o hechos a mano, estos son normalmente poco profundos y más baratos a diferencia de los perforados que son hechos por maquinaria y profesionales especializados. En Honduras, los pozos excavados también se conocen como pozos artesanales (BROOKS, 2003).

### **2.3. El acuífero**

Es toda formación geológica capaz de contener y transmitir agua. También se puede definir como el medio poroso, donde se puede almacenar agua y a través del cual ésta puede moverse o fluir libremente.

En las rocas fracturadas el agua subterránea se mueve a través de las fracturas o fisuras, tales como granito y basalto fracturados. En las calizas con fracturas, éstas frecuentemente pueden ser ampliadas por el agua, formando canales grandes o aún cavernas. Estas calizas, donde la solución ha

sido muy activa se llaman karsts. De acuerdo al comportamiento hidráulico, se consideran:

a. Acuífero confinado o Artesiano: se trata de una formación permeable comprendida entre dos estratos impermeables, que mantiene el agua a presión.

b. Acuífero libre: Está caracterizado por la presencia de una superficie libre de agua (nivel freático) que constituye su límite superior; su límite inferior puede ser una formación impermeable o semipermeable. El flujo en estos acuíferos es por gravedad, como en canales, de mayor a menor carga hidráulica.

### **2.3.1. Propiedades de los acuíferos**

Los acuíferos poseen ciertas características, relacionadas con la capacidad de almacenamiento de agua y con su movimiento, o parámetros hidráulicos:

a. Porosidad ( $n$ ): relación del volumen de vacíos al volumen total, varía desde valores altos en las arcillas (45%) a valores más bajos, en formaciones con cavidades o cavernas.

b. Coeficiente de Almacenamiento ( $S$ ): Está relacionado con el



volumen de agua que pueda extraerse por unidad de volumen de un acuífero; por drenaje o expansión del agua.

c. Permeabilidad o conductividad hidráulica ( $k$ ) : Facilidad que ofrece el medio poroso al movimiento del agua; depende tanto de las propiedades del fluido como de la matriz sólida.

d. Transmisividad ( $T$ ): Es el flujo de agua a través de un área perpendicular a la dirección del flujo.

#### **2.4. Calidad del agua subterránea**

Debido a que el agua subterránea se mueve a través de las rocas y la tierra del subsuelo, puede fácilmente disolver sustancias durante este movimiento. Por dicha razón, el agua subterránea muy frecuentemente puede contener más sustancias que las halladas en el agua superficial.

La contaminación del agua puede definirse como la modificación de las propiedades físicas, químicas o biológicas que restringen su uso. Las sustancias que modifican la calidad del agua de los acuíferos se dividen en:

- Sustancias presentes en la naturaleza
- Sustancias producidas por las actividades del hombre (antropogénicas).

Dentro de las primeras se encuentran: arsénico, flúor y elementos radiactivos, entre otros; mientras que en las segundas se incluyen bacterias, virus, nitratos, orgánicos sintéticos e hidrocarburos (solventes, pesticidas, etc.) y metales pesados.

Las fuentes de contaminación se pueden originar en la superficie del terreno, por ejemplo, la agricultura; en el subsuelo por arriba del nivel freático, por ejemplo, basureros a cielo abierto; y en el subsuelo por debajo del nivel freático, como es el caso de pozos abandonados (MAMANI, 2012).

## **2.5. Índice de calidad de agua**

BROWN *et al* (1970) desarrollaron, por primera vez, una metodología para crear un índice de calidad de agua debido a la necesidad de implantar un método uniforme que pudiera medir la calidad del agua. Esta metodología es sensitiva a los químicos más contaminantes y como resultado proporciona los efectos desfavorables de la contaminación al hombre y a la vida acuática. Además, como es característico de los índices, permite evaluar los cambios en la calidad del agua. Para evitar la subjetividad al momento de seleccionar los constituyentes, su escala de valores y el peso de cada parámetro, la metodología incorpora el método DELPHI (BROWN *et al.*, 1970).

El Índice de Calidad del Agua, consiste en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales

serven como una medida de calidad del agua, y permiten valorar este recurso para un determinado uso. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color.

Para calcular el Índice de Calidad de Agua, se usa una suma lineal ponderada de los subíndices de cada parámetro, bajo la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum q_i * w_i$$

Dónde:

ICA = Índice de Calidad del Agua.

Q<sub>i</sub> = Subíndice del parámetro i.

w<sub>i</sub> (1) = Peso relativo o peso de importancia para el subíndice i (considerando ocho parámetros).

w<sub>i</sub> (2) = Peso relativo o peso de importancia para el subíndice i (considerando siete parámetros).

## 2.6. Clasificación de los índices de calidad del agua

De acuerdo con BALL y CHURCH, (1980), los índices de calidad de agua pueden organizarse en 10 categorías dentro de 4 grupos. Las categorías están orientadas de acuerdo con su uso.

· **Grupo uno:** se aplica a tensesores e incluye dos categorías:

- **Los indicadores en la fuente:** los cuales reportan la calidad del agua,

generada por tensores en fuentes discretas.

- **Los indicadores en un punto diferente a la fuente:** reportan la calidad del agua generada por fuentes difusas.

- **Grupo dos:** mide la Capacidad de Estrés e incluye 4 categorías:

- **Medidas simples como indicadores:** incluyen muchos atributos y componentes individuales del agua, que pueden ser usados como indicadores de su calidad

- **Los indicadores basados en criterios o estándares:** los que correlacionan las medidas de calidad de agua con los niveles estándar o normales que han sido determinados para la preservación y usos adecuados del agua.

- **Los índices multiparámetro:** son determinados por las opiniones colectivas o individuales de expertos.

- **Los índices multiparámetro empíricos:** son establecidos por el uso de las propiedades estadísticas de las mediciones de calidad del agua.

- **Grupo Tres:** incluye la categoría única de **indicadores para lagos**, específicamente desarrollados para este tipo de sistemas.

- **Grupo Cuatro:** sobre las consecuencias: Incluye 4 categorías:
- **Indicadores de la vida acuática:** basados en las diferentes relaciones de tolerancia de la biota acuática a varios contaminantes y condiciones.
- **Indicadores del uso del agua:** evalúan la compatibilidad del agua con usos como, abastecimiento y agricultura.
- **Indicadores basados en la percepción:** los cuales se determinan por las opiniones del público y los usos de los cuerpos de agua.

## 2.7. Usos de los índices

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar la información de la calidad del agua y su difusión comunicativa, sin embargo, no pretenden reemplazar los medios de transmisión de la información existente. De acuerdo con OTT (1978), los posibles usos de los índices son seis:

- **Manejo del recurso,** en este caso los índices pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- **Clasificación de áreas,** los índices son usados para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.

- **Aplicación de normatividad.** En situaciones específicas y de interés, es posible determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
  
- **Análisis de la tendencia.** El análisis de los índices en un periodo de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está disminuyendo o mejorando.
  
- **Información pública.** En este sentido, los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
  
- **Investigación científica.** Tiene el propósito de simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

## **2.8. El índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF) de los Estados Unidos**

El índice de Calidad de Agua (Water Quality Index - WQI), fue desarrollado en 1970 por la Fundación Nacional de Saneamiento (National Sanitation Foundation - NSF) de Estados Unidos, por medio del uso de la técnica de investigación DELPHI de la Rand Corporation's (BALL Y CHURCH 1980). Esta técnica tiene la característica de ser un índice multiparámetro los que en número de nueve son las variables identificadas de mayor importancia: Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales, pH, DBO5, Nitratos, Fosfatos,

Desviación de la Temperatura, Turbidez y Sólidos Totales (OTT, 1978; BROWN *et al.*, 1970).

### 2.8.1. Formulaciones y cálculo del índice NSF

Según OTT (1978), Para calcular el índice de calidad del agua agregado, se usa una suma lineal ponderada de los subíndices o una función de agregación del producto ponderado. El NSF usó una suma lineal ponderada. El resultado de su aplicación, debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad de agua muy pobre y 100 representa la calidad de agua excelente. Esto encaja con el concepto del público general de valoraciones.

La evaluación numérica del ICA con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos se debe a Brown. Para calcular el Índice de Brown se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICAA) o una función ponderada multiplicativa (ICAM).

La primera ecuación del índice fue un promedio geométrico ponderado:

$$WQI = \left( \prod_{i=1}^n SI_i \right)^{w_i}$$

En la actualidad el índice usa un Promedio Aritmético Ponderado:

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

Dónde:

WQI: Índice de Calidad de Agua (ICA)

$SI_i$  : Subíndice del parámetro  $i$  (variable)

$W_i$  : Pesos relativos asignados a cada parámetro ( $SI_i$ ) y ponderados entre 0 y 1 (factor de ponderación), de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Mientras la suma lineal ponderada se usa ampliamente, la agregación del producto ponderado, evita eclipsar el resultado, porque si un sub-índice es cero, entonces el índice es automáticamente cero (OTT, 1978).

En el establecimiento de los pesos para los sub-índices, es importante que los pesos sumen a uno. Para lograr esto, se calculan promedios aritméticos de las valoraciones para todas las variables; los pesos temporales son calculados dividiendo la importancia de cada parámetro sobre la valoración del peso de la variable de mayor importancia, es decir, el oxígeno disuelto.

Así, los pesos temporales son divididos individualmente entre la suma de los pesos temporales. Para el cálculo del ICA se emplean nueve parámetros y con el fin de que la información sea interpretada más fácilmente que una lista de valores numéricos este índice es representado por un color. En el Cuadro 1 se presenta el peso relativo de los parámetros considerados en el ICA-NSF.



Cuadro 1. Pesos ponderados finales de cada variable (parámetro) en la determinación del ICA-NSF.

N°	SI <sub>i</sub>	Wi
1	Oxígeno disuelto	0.17
2	Coliformes fecales	0.16
3	pH	0.11
4	DBO5	0.11
5	Nitratos	0.10
6	Fosfatos	0.10
7	Cambio temperatura	0.10
8	Turbidez	0.08
9	Sólidos disueltos totales	0.07

Fuente: Sistema Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador (SNET, 2009)

Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua (ICA-NSF), se clasifica la calidad del agua en base a la escala de colores de calidad indicada en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Escala de colores representando la calidad del agua según el rango de clasificación ICA – NSF

Escala de colores de calidad	Rango de clasificación ICA - NSF
Excelente	91-100
Buena	71 - 90
Media	51 - 70
Mala	26 - 50
Muy mala	0 - 25

Fuente: ICA-NSF-USA (BROWN, 1970).

## **2.9. Componentes de la calidad del agua**

El agua potable es aquella que cumple con un conjunto de normas establecidas por instituciones nacionales e internacionales y que se considera no ocasiona daños a la salud del consumidor. Más del 90 % del abastecimiento de agua potable es intermitente, solamente el 44 % dispone de cloración efectiva y no se dispone de adecuados sistemas de control y vigilancia de la calidad del agua. Esto sin duda es una de las causas más importantes de que en Honduras las enfermedades de origen hídrico están en el primer lugar de morbilidad y el segundo en mortalidad infantil.

La calidad de agua se define como un concepto complejo que implica un juicio subjetivo que es función del uso y que además incluye una relación de parámetros físicos, químicos y biológicos que define su composición, grado de alteración, y la utilidad del cuerpo hídrico (SEMAREAN, 2001).

### **2.9.1. pH**

Para conocer la calidad se evalúan un gran número de parámetros que permiten analizar la condición en que se encuentra una fuente de agua en particular, entre ellos el pH, este parámetro es una medida de la acidez o basicidad de una sustancia (EPA, 2007). El pH posee un ámbito de 0 a 14 donde 7 es el valor considerado como neutral. Cuando el valor del pH es menor

de 7 es ácido, mientras que si el mismo valor está sobre este pH es básico. El valor recomendado del pH en el agua es 6.5 a 8.5 (EPA, 2007).

### **2.9.2. Nitrato**

El nitrato es un compuesto inorgánico combinado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O) cuyo símbolo químico es  $\text{NO}_3$ . Normalmente, el nitrato no es peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito ( $\text{NO}_2$ ).

Con frecuencia, la contaminación por nitratos procede, principalmente, de fuentes no puntuales o difusas. Las fuentes de contaminación por nitratos en suelos y aguas (superficiales y subterráneas) se asocian, mayormente, a actividades agrícolas y ganaderas, aunque en determinadas áreas, también pueden estar relacionadas a ciertas actividades industriales, especialmente las del sector agrícola (PREQB, 2004).

Su presencia debe ser controlada en el agua potable fundamentalmente porque niveles excesivos pueden provocar metahemoglobinemia, o “la enfermedad de los bebés azules”. Aunque los niveles de nitratos que afectan a los bebés no son peligrosos para niños mayores y adultos, sí indican la posible presencia de otros contaminantes más peligrosos procedentes de las residencias o de la agricultura, tales como bacterias o pesticidas (MAMANI, 2012; PREQB, 2004).

El origen de los nitratos en aguas subterráneas es, primordialmente, de fertilizantes, sistemas sépticos y almacenamiento de estiércol u operaciones de extensión (PREQB, 2004).

Los fertilizantes nitrogenados no absorbidos por las plantas, volatilizados, o arrastrados por la escorrentía superficial acaban en las aguas subterráneas en forma de nitratos. Esto hace que el nitrógeno no esté disponible para las plantas y puede, además, elevar la concentración en aguas subterráneas por encima de los niveles admisibles de calidad del agua potable. El nitrógeno procedente del estiércol o de los abonos puede provenir de manera similar de los prados, corrales, o lugares de almacenamiento. Los sistemas sépticos eliminan solamente la mitad del nitrógeno de las aguas residuales, dejando que la otra mitad sea llevada hacia las aguas subterráneas. Aumentándose el nitrato en las aguas subterráneas. El estándar de calidad de agua, según la JCA, es de 10 mg/L conforme designado por la clasificación SD (MAMANI, 2012; PREQB, 2004).

Para aguas subterráneas en Perú se ha considerado para el Nitrato (exposición corta) tanto en la sub categoría A-1 (Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección) y A-2 (Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional) el valor de 10 mg/L, en tanto el valor del nitrito solo para una exposición corta en 1 mg/L; para una exposición prolongada se deberán bajar estos valores tomando en cuenta que la suma de los cocientes entre la concentración de cada uno (nitrato y nitrito) y su valor de referencia no

debe ser mayor que 1; y específicamente el Nitrito para una exposición prolongada deberá alcanzar valores menores a 0,2 mg/L (MAMANI, 2012).

### **2.9.3. Fósforo total**

El fósforo total es una medida de todas las formas de fósforo existentes, ya sean disueltas o en partículas que incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se obtienen por análisis químico. Por otro lado, el fósforo es un nutriente requerido por todos los organismos generalmente fotosintéticos para sus procesos básicos de vida, contribuyendo a la eutrofización de lagos, ríos y pozos. Es un elemento natural que puede estar en rocas y en materia orgánica. Es utilizado extensivamente en fertilizantes y en otros químicos, por lo que puede ser hallado con concentraciones altas en áreas de actividad humana. Su exceso en el agua puede provocar eutrofización. Fósforo puede existir en el agua como fase particulada o como una fase disuelta.

El material particulado puede incluir el plancton vivo y muerto, precipitados de fósforo, fósforo adsorbido a partículas y fósforo amorfo. La fase disuelta incluye fósforo inorgánico y fósforo orgánico. Fósforo en las aguas naturales normalmente se encuentra en la forma de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). El estándar de calidad de agua para el fósforo total, según la JCA, es de 1 mg/L conforme establecido por la clasificación SD (PREQB, 2004).

#### **2.9.4. Turbidez**

Para evaluar la calidad de agua se debe tomar en cuenta la turbidez, la misma es una característica física que causa la interrupción de la luz por las partículas presentes, normalmente materia suspendida o impurezas que interfieren con la claridad del agua (EPA, 1999). Las aguas negras y la escorrentía son conocidas como fuentes típicas de turbidez. Se establece como valor recomendado para la turbidez 1 UNT y para el valor máximo admisible 5 UNT.

#### **2.9.5. Oxígeno disuelto**

El Oxígeno Disuelto es la cantidad presente en el agua y que es esencial para los ríos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y de cuánto sustento puede dar esa agua a la vida animal y vegetal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica una mejor calidad de agua. Si los niveles son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir (PREQB, 2004).

Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire, del producto de la fotosíntesis de las plantas acuáticas y también podría resultar de la turbulencia en las corrientes debido a que el oxígeno en el aire que queda atrapado bajo el agua en movimiento rápido se disuelve en ésta.

Otro factor que, además, puede afectar la cantidad de oxígeno que se disuelve en el agua es la temperatura. El agua fría guarda más oxígeno que la caliente.

El oxígeno disuelto en el agua no se clasifica como un contaminante. Sin embargo, su escasez o exceso puede traer condiciones no favorables al agua, por lo que es un indicador de la contaminación. La escasez de oxígeno disuelto en agua es lo que crea más problemas ya que pueden aumentar los olores y sabores como consecuencia de la descomposición anaeróbica. El estándar de calidad de agua para el oxígeno disuelto, según la ICA, es no menos de 5 mg/L (PREQB, 2004). Tomando en cuenta una temperatura estándar de 20°C, el porcentaje de saturación correspondiente a 5 mg/L de oxígeno disuelto es de  $(5/9.17) \cdot 100 = 54.33 \%$ .

#### **2.9.6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es el parámetro que se maneja para tener una medida de la materia orgánica biodegradable. La demanda bioquímica de oxígeno es una prueba usada en la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y residuales. Su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores (DAVIS Y CORNWELL, 1998).

Representa una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica. Es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos y por la cantidad y el tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media del elemento nutritivo.

Según los estándares de calidad de agua de la JCA, el nivel permisible de la demanda bioquímica de oxígeno de fuentes de aguas usadas será determinado, caso por caso, dependiendo de la capacidad asimilativa del cuerpo de agua receptor. Tal determinación será efectuada para asegurar el cumplimiento con el estándar de oxígeno disuelto aplicable en el cuerpo de agua receptor (PREQB, 2004).

### **2.9.7. Sólidos disueltos totales**

Desde el punto de vista ambiental, una sustancia puede existir en el agua en una de las siguientes formas: disuelta, suspendida o como coloide. Una sustancia disuelta es aquella que se encuentra dispersa homogéneamente en el líquido. Pueden ser simples átomos o compuestos moleculares complejos mayores de 1  $\mu\text{m}$  en tamaño. Las sustancias disueltas se hallan presentes en el líquido en una sola fase, por lo que no pueden ser removidas del líquido sin lograr un cambio de fase como la destilación, precipitación, absorción o extracción (DAVIS y CORNWELL, 1998).



Los sólidos suspendidos son lo suficientemente grandes como para permanecer en suspensión o ser removidos por filtración. En este caso hay dos fases: la líquida y la de la partícula sólida suspendida. La escala de tamaño para los sólidos suspendidos varía entre 0.1  $\mu\text{m}$  hasta 1.0  $\mu\text{m}$ . En general, se define a los sedimentos suspendidos como aquellos sólidos que pueden ser removidos por filtración (DAVIS y CORNWELL, 1998).

Las partículas coloidales tienen un rango de tamaño que varía substancias disueltas y sedimentos suspendidos (DAVIS y CORNWELL, 1998).

#### **2.9.8. Microorganismos coliformes**

Así también las bacterias representan la causa de varias enfermedades gastrointestinales en los seres humanos. La OPS (1988) menciona que diversas enfermedades causadas por estos microorganismos son transmitidas dentro de los miembros de una misma especie, sin embargo existen bacterias que pueden pasar esta frontera biológica, por ejemplo a través de las heces de los animales. Entre estas bacterias una de las más conocidas es *Escherichia coli*. Esta particularidad le brinda una alta movilidad, impactando la salud de los seres humanos expuestos al agua contaminada con estiércol (OPS, 1988).

De acuerdo a los estándares peruanos el abastecimiento con agua no entubada tiene un valor recomendado de 0 UFC 100 ml<sup>-1</sup> y un máximo

admisible de 10 UFC 100 ml-1 para coliformes totales. Por otro lado ambos valores deben ser 0 UFC 100 ml-1 para los coliformes termotolerantes o fecales (OPS,1988).

Las aguas subterráneas que no se encuentran conectadas a un sistema de distribución se encuentran por ley dentro de esta categoría

## **2.10. Contaminación de agua subterránea**

Generalmente los contaminantes más importantes de fuentes subterráneas son materia orgánica, componentes orgánicos sintéticos (por ejemplo, PCB y pesticidas como DDT), microbios, nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo), grasas, hojarasca y (usualmente a una menor extensión) metales pesados (cadmio, mercurio y plomo). De acuerdo a NEWMAN *et al.* (1994) los contaminantes se pueden introducir al sistema a través de diferentes fuentes de contaminación, clasificadas en puntuales y difusas. Según BAPTISTA (2002) una vez que los distintos contaminantes llegan al ambiente, estos se mueven de acuerdo a varios factores naturales y tecnológicos interrelacionados. Este movimiento puede ser rápido o lento, los caminos pueden ser directos o muy complejos.

De acuerdo a BALLESTERO *et al.* (2007) un 82 % del agua explotada (balance de agua nacional) es dirigida a actividades agrícolas, supliendo agua a un total de 86 631 ha. De este total, 92,3 % es suplida por el

agua superficial y 7,7 % es extraída de las fuentes de agua subterránea a través de pozos. Esta situación es aún más compleja, puesto que según la OMS (2007) la irrigación y el drenaje pueden llegar a desempeñar un papel muy importante en el transporte de contaminantes de su fuente al abastecimiento de agua. Estos también pueden afectar la calidad del agua subterránea, ya que alteran el agua y el balance de sal en el suelo, el cual puede cambiar sus características físico-químicas y afectar la lixiviación de productos químicos.

Es realmente importante conocer la dinámica del agua subterránea, ya que existen poblaciones a nivel nacional que se suplen de dichas fuentes. De acuerdo a LOSILLA *et al.* (2001) existen solamente cerca de 1,250 pozos que se encuentran registrados, 234 de estos abastecen poblaciones urbanas y se les extraen al menos unos 75 hm<sup>3</sup> al año. Los datos mencionados no toman en cuenta la explotación que se realiza en Islas de La Bahía donde la perforación es elevada.

## **2.11. Estudios de aguas subterráneas en la costa, sierra y selva del Perú**

Los estudios fueron realizados por el Ministerio de Agricultura mediante el Instituto Nacional de Recursos Naturales y por encargo de la Dirección General de Aguas y Suelos, en pozos de diversas regiones del país, los pozos en estos estudios tuvieron diversas profundidades desde apenas

unos metros hasta más de 60 metros, además los pozos estudiados estuvieron contruidos de diversos materiales, siendo estos pozos tubulares, a tajo abierto y mixtos.

Los parámetros evaluados no han sido uniformes, además en los resultados han influido muchos factores que han hecho variar los resultados ampliamente, esto debido a que no se ha estandarizado una metodología según el tipo de pozo, además no se ha tomado en cuenta la composición del agua desde el punto de vista de contaminación de estos acuíferos ya que muchos de ellos por su exposición abierta y directa por mucho tiempo ha ido modificando su composición físico-química y biológica, no obstante presentamos a modo de referencia los resultados globales de dichos estudios expresado en promedios generales y comparados con parámetros de la OMS (2006).

La evaluación del agua subterránea ha sido una tarea que ha adquirido gran importancia en las últimas décadas en nuestro país, como consecuencia del incremento de la demanda por el recurso. Así, tanto las personas involucradas directamente con el sector hidráulico como aquellas relacionadas de manera indirecta, han prestado mayor interés en los conceptos hidrogeológicos que forman la base el estudio de las aguas subterráneas (MAMANI, 2012).

Sólo el 22% (6,167 pozos) son tubulares, pero muchos carecen

de equipos y un alto porcentaje (39%) está abandonado o inutilizado, mientras que los restantes se utilizan mayormente sólo en épocas de estiaje y sequía, por sus altos costos de operación. No se han hecho estudios que determinen la recarga o renovación de los acuíferos estudiados, y el balance hídrico que determine su sustentabilidad y la seguridad de su abastecimiento a largo plazo, así mismo se carece de información de estos estudios acerca de las características físico químicas de los mismos.

Estos pozos tubulares construidos en zonas áridas de costa tienen por lo general profundidades entre 40 y 100 m; nivel freático entre 10 y 30 m y caudales que se obtienen varían entre 12 y 100 l/s. El inventario realizado de los pozos de la región costa del Perú se muestra en la tabla 3, pero este inventario de acuerdo a la información disponible en la red, es referida solo a los aspectos numéricos y características muy genéricas, mas no se ha encontrado datos específicos acerca de los parámetros físico químicos, ni biológicos.

El uso del agua subterránea varía entonces según la disponibilidad del agua superficial de cada año, y se estima que anualmente fluctúa entre 1267 millones de m<sup>3</sup> como mínimo, y 1 841 millones de m<sup>3</sup> como máximo, según diversas fuentes.

En Lambayeque, de acuerdo a los datos obtenidos durante el año 1999, en el muestreo realizado de diferentes pozos y norias del Departamento

de Lambayeque, se puede observar que la mayoría de éstos se encuentran contaminados con bacterias coliformes totales, datos suficientes que comparados con los estándares microbiológicos de la Ley General de Aguas D.L. N°17752, se consideran no aptas para el consumo humano.

Dentro de las causas de la contaminación de las aguas subterráneas, sería la falta de criterio para la ubicación y diseño, la falta de educación sanitaria para su adecuado mantenimiento y las recientes letrinas o pozos sépticos construidos, que no habrían cumplido con los criterios de que puedan contaminar las aguas subterráneas. Esto trae como consecuencia, el consumo de agua contaminada en las zonas rurales y peri-urbanas, dando lugar a la aparición de enfermedades de transmisión hídrica como el cólera, hepatitis, poliomielitis, tifoidea, gastritis, etc.

En Cusco, el estudio de la calidad de agua subterránea se hizo en una poza de la Comunidad Nativa Nuevo Mundo que se encuentra en el tramo Kinteroni 1-Nuevo Mundo, pertenecientes a los lotes 56 y 57 ubicados en el departamento de Cusco, provincia de La Convención, distrito de Echarate, en donde se analizó las condiciones físicas, químicas y microbiológicas, el año 2010.

Los resultados de los análisis fueron evaluados mediante comparación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas (D.S. N° 002 – 2008 - MINAM) según la categoría 1: A2; “Aguas que pueden

ser potabilizadas con tratamiento convencional"; en concordancia con la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338.

El método empleado en la caracterización del cuerpo de agua ubicado en el campamento Nuevo Mundo fue el establecido en el protocolo de monitoreo para calidad de agua de la Dirección General de Asuntos Ambientales - Ministerio de Energía y Minas. Los protocolos utilizados permiten el aseguramiento y control de la calidad de la labor de muestreo. Los análisis en laboratorio estuvieron a cargo del laboratorio CORPLAB Perú S.A.C.

En los puntos de evaluación se realizaron mediciones in situ de cuatro parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. Los tres primeros se midieron con un equipo multiparámetro YSI 63; mientras que, el oxígeno disuelto se registró con un oxímetro YSI DO200. Ambos equipos reportaron lecturas directas pues ante de su uso fueron calibrados y verificados de acuerdo a las especificaciones de su manual, dando como resultados todos los parámetros dentro de los ECAs y LMPs.

## **2.12. Antecedentes sobre el uso de índices de calidad del agua**

Para las evaluaciones de calidad de agua, diferentes organizaciones de varias nacionalidades involucradas en el control del recurso hídrico, han usado históricamente y de manera regular, Índices Fisicoquímicos. Sin embargo, mientras que los índices de calidad de agua aparecen en la

literatura a principios de 1965 (HORTON, 1965), la ciencia del desarrollo de los índices de calidad de agua no madura hasta los 70s. Esto pudo deberse en parte a que no fueron ampliamente utilizados y aceptados por las diferentes agencias de monitoreo de la calidad acuática.

El índice General de Calidad de Agua fue desarrollado por Brown *et al.* (1970) y mejorado por Deininger para la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos en 1975 (NAS, 1975). De acuerdo con un estudio de la NAS (1975), el Departamento Escocés para el Desarrollo (SSD), en colaboración con instituciones regionales para la preservación de la calidad del río, *The Solway Pufication Board* (Solway RPB) y la *Tweed Purification* (Tweed RPB), llevaron a cabo extensas investigaciones para evaluar la calidad del agua en ríos de Escocia.

En 1978, OTT presentó una discusión detallada sobre la teoría de índices ambientales y su desarrollo como también una revisión sobre los índices de la época (OTT, 1978a). Según CUDE (2001), desde 1978 hasta 1994, revisiones de literatura de los índices de calidad de agua desarrollados desde su introducción, han revelado enfoques nuevos y han proporcionado nuevas herramientas para el desarrollo de los índices (DINIUS, 1978; STONER, 1978; YU and FOGEL, 1978; JOUNG *et al.*, 1979; BHARGAVA, 1983; SMITH, 1987; KUNG *et al.*, 1992; DOJLIDO *et al.*, 1994; En: CUDE (2001)).



Sólo hasta 1980, el Departamento de Calidad Ambiental de Oregon, desarrolló su propio índice a partir del NSF, sin embargo, su aplicación fue discontinua dada la dificultad de su cálculo en computadores de primera generación.

Entre 1995 y 1996 se desarrollaron, entre otros, los siguientes avances: la Estrategia de Evaluación de la Florida (The Strategic Assessment of Florida's Environment-SAFE) que formuló un índice en 1995. El índice de British Columbia (BCWQI) desarrollado en 1996 y El Programa de Mejoramiento de la Cuenca Baja de (WEP, 1996) que desarrolló un índice en 1996. En este último año, un estudio realizado por HELMOND y BREUKEL, demostró que por lo menos 30 índices de calidad de agua son de uso común alrededor del mundo, y consideran un número de variables que van de 3 a 72. Prácticamente todos estos índices incluyen por lo menos 3 de los siguientes parámetros: O<sub>2</sub>, DBO y/o DQO, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>3</sub>-N, pH y sólidos totales.

Indagaciones realizadas virtualmente, muestran que para la fecha el índice NSF es aún utilizado, especialmente como herramienta en estrategias pedagógicas en escuelas, colegios y preparatorias de Estados Unidos, como lo hace la Universidad Estatal de Cleveland, Ohio, quien tiene un sitio especial donde se explica y promueve el uso del NSF. Otros ejemplos de esto son: el Iowa Rivers Project, las Escuelas de Nebraska, en la cascada y la Escuela Superior de Idaho con su "Advanced Biology Class". Existe inclusive un manual conocido como: "Field Manual for Water Quality Monitoring: An Environmental

Education Program for Schools" por M.S. Mitchell, William B. Stapp, and Kevin Bixby, 11th edition (Marzo de 1996) (BROWN *et al.*, 1970; MITCHELL y STAPP, 2000).

Para el caso Latinoamericano, en México se han desarrollado diversos índices de Calidad de Agua a medida que la normatividad se ha desarrollado (MONTROYA, 1997). Dentro de los índices generales de común utilización se encuentran, los de Horton, Brown, Prati, Mcduffi, Dinius y el INDIC-SEDUE. En los de usos específicos están los de O'connors (Pesca, vida silvestre y Abastecimiento público), Walski (Recreacional), Stoner (Abastecimiento público e Irrigación) y el de Nemerow y Sumitomo (Contacto humano directo, indirecto y remoto), (SRH, 1973; GUZMÁN y MERINO, 1992; MONTROYA *et al.*, 1997).

El índice INDIC-SEDUE fue el primero en desarrollarse y aplicarse en México y Jalisco, tuvo un uso común en la antigua Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en el Departamento de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental de la Subdelegación de Ecología de la Delegación SEDUE-JALISCO (GONZÁLES, 1980). Este índice de Calidad de Agua está basada en el índice desarrollado por Dinius y adaptado y modificado por la Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica (DGPOE) de la SEDUE (MONTROYA *et al.*, 1997).

En Colombia de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2000), la medición de parámetros fisicoquímicos es una actividad rutinaria. No ha así el cálculo de índices de calidad de agua, a pesar de las recomendaciones y de las formulaciones explícitas en la legislación (RAMÍREZ *et al.*, 1997, 1999 y 2005), aunque éstas sí vienen siendo aplicadas regularmente en la industria del petróleo. Tan solo algunas corporaciones autónomas regionales en las ciudades de Santafé de Bogotá, Barranquilla, Bucaramanga, Cali y Manizales, aplican formulaciones de origen norteamericano en sus programas de monitoreo.

En 2002, diferentes entidades que conforman el Sistema de Información Ambiental Colombiano, incursionaron sobre la base de los desarrollos de RAMÍREZ y VIÑA (1998) y otros autores en el diseño de 14 indicadores ambientales, de los cuales 3 corresponden a la oferta hídrica, 2 a la sostenibilidad del recurso, 6 a la calidad del agua dulce y 3 ICAs adicionales para las aguas marinas y costeras. Algunos de estos indicadores, especialmente los de calidad del agua, apenas se dejan planteados en consideración a la poca densidad de puntos de colección de datos y su falta de sistematización y estandarización (IDEAM *et al.*, 2002).

A pesar de los desarrollos en el ámbito mundial y local en cuanto al desarrollo de ICAs-ICOs, en la actualidad se hace necesario dentro del marco de la valoración y manejo del agua, desarrollos de Sistemas Integrados de Evaluación del Recurso Hídrico y no tan sólo de formulaciones separadas.

### **2.13. Clasificación del agua subterránea para su aplicación**

Para la elaboración de la propuesta se ha considerado tres categorías homólogas a la clasificación que señala la Ley de Recursos Hídricos

- Ley N° 29338 como sigue:

#### **-Categoría A: Aguas subterráneas destinadas a la producción de agua potable**

**-A1:** Aguas que puede ser Potabilizado con Desinfección (también en concordancia a lo fijado en la Ley 29338, Art 36 agua para uso primario).

**-A2:** Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Convencional o Avanzado. (Aplicable lo fijado en la Ley 29338, Art 39 agua para uso poblacional).

**-Categoría B: Aguas subterráneas aprovechables para uso agropecuario** (Acorde a lo fijado en la Ley 29338, Art 43 agua de tipo de uso Productivo numeral 1 tipo Agrario: pecuario y agrícola).

**-Categoría C: Aguas subterráneas para conservación del ambiente** (Acorde a lo fijado en la Ley 29338, y normas ambientales aplicables) .

En base a la esta clasificación de aguas subterráneas se ha propuesto (MAMANI, 2012) los estándares de Calidad Ambiental para agua subterránea que pueden apreciarse en el Anexo A.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación de la zona de estudio**

La comunidad de Pueblo Nuevo se encuentra ubicado en la margen derecha de Quebrada del Caco, tributario del río Ucayali, políticamente pertenece al Distrito de Iparía, Provincia de Coronel Portillo, a 9 horas de la ciudad de Pucallpa. Cuenta con una población de 476 habitantes según el Censo del año 2013.

El punto de referencia de la comunidad en coordenadas UTM es de: X: 589795.00 y Y: 806069696.0 (ANEXO D).

Los límites conocidos del territorio comunal corresponden a las siguientes características:

- Norte: Con la concesión Grateli.
- Sur: Quebrada Caco.
- Este: San Luis de Contamanillo.
- Oeste: Curiaca.

### **3.2. Aspectos meteorológicos**

De acuerdo a la información recogida de las estaciones meteorológicas de Von Humboldt zona representativa del área estudiada, la temperatura media anual oscila entre 19,7 °C y 30,6 °C. El promedio anual de precipitación alcanza a 1 753 mm/año.

La distribución de la temperatura durante el año es uniforme, sin mayores oscilaciones. Las precipitaciones se presentan durante todo el año, siendo la época más lluviosa durante los meses de diciembre a marzo y la más seca en el periodo de mayo a octubre.

El área ecológicamente, de acuerdo al sistema de zona de vida de Holdridge, pertenece a un bosque húmedo Tropical (bh-T).

### **3.3. Unidades experimentales**

Las unidades de estudio están constituidas por las muestras de agua que se obtuvo de tres pozos de agua que abastecen a la comunidad nativa Pueblo Nuevo, Ucayali.

### **3.4. Parámetros de estudio según la NSF**

En el laboratorio de Microbiología de la UNAS (Cuadro 3) se

determinó los parámetros físicos químicos: DBO<sub>5</sub>, Oxígeno Disuelto (OD), Nitratos, Fosfatos, Turbidez, Solidos Suspendidos Totales (SST), Temperatura y pH *in situ*. Asimismo el parámetro microbiológico de NMP de bacterias coliformes fecales (*Escherichia coli*).

Cuadro 3. Parámetros para la determinación de la ICA-NSF

Análisis	Parámetros	Método
Físicos - químicos	DBO <sub>5</sub>	Oxímetro-Winkler
	Oxígeno disuelto	Oxímetro-Winkler
	Nitratos	HACH 8039
	Fosfatos	HACH 10127
	pH	pH-metro
	Temperatura del agua	Termómetro °C
	Temperatura ambiental	Termómetro °C
	Turbidez	Nefelométrico
	SST	APHA-2540 D
Microbiológicos	Coliformes fecales	9221 NMP APHA

Fuente: ICA-NSF-USA (BROWN, 1970).

### 3.5. Toma de muestra

En los tres pozos señalados, la toma de muestras se realizó utilizando frascos de vidrio esterilizados, de boca ancha con capacidad de 1 litro debidamente limpias y estériles. Se introdujo en el agua el frasco de

muestreo, sostenido con una cuerda y tomando la muestra tras haber agitado la superficie del agua con el mismo recipiente, se sumergió rápidamente a 20 cm. de profundidad aproximadamente de bajo de la superficie del agua, se retiró del pozo y se etiquetó acondicionándolo adecuadamente para su traslado al laboratorio.

La toma de muestra constó de tres muestras de agua por horario de recolección elegido previamente, tomadas tanto en horas de la mañana (6.00 am) a una temperatura de 28°C y en horas de la tarde (4.00 pm) a una temperatura de 30°C.

### **3.6. Parámetros microbiológicos : número más probable de coliformes fecales (coliformes termotolerantes)**

Se utilizó la técnica del Número Más Probable (NMP) con serie de tres tubos y en tres etapas, según el Método 9221 de la APHWA (1999).

#### **- Etapa presuntiva**

Se utilizaron tres diluciones ( $10^{-1}$  a  $10^{-3}$ ) a partir de la muestra original de agua, cada dilución con una serie de tres tubos o repeticiones teniéndose un total de nueve tubos conteniendo Caldo Lactosa Bilis Verde Brillante (BRILA) y dentro de cada tubo un tubito de Durham invertido para la captura de gas. Cada serie de BRILLA recibió 1 mL de alícuota de su



respectiva dilución, se incubaron a una temperatura de 37 °C por un periodo de 24 a 48 horas. Se verificó producción de gas en los tubitos Durham.

- **Etapa de confirmación**

De los tubos gas positivos de la etapa anterior, se tomó una alícuota como inóculo y se sembró en tubos que contienen 9 mL de Caldo E.C. (E.coli) presentando también tubitos Durham para la verificación nuevamente de la producción de gas, luego se llevó a incubar a una temperatura de 44.5 °C por un periodo de 24 a 48 horas. Se determinó el índice Número Más Probable (iNMP) de coliformes fecales en la tabla NMP de coliformes totales según los tubos positivos a gas, calculándose posteriormente el Numero Más Probable por 100 mL aplicando la fórmula:

$$\text{NMP} / 100\text{mL} = \frac{\text{Índice NMP} \times \text{dilución intermedia}}{100}$$

- **Etapa completada**

De los tubos de Caldo EC se repicaron por estrías y agotamiento sobre placas conteniendo el medio Eosina Azul de Metileno (EMB), para determinar desarrollo de colonias típicas de coliformes y de *Escherichia coli*. Luego de incubación a 37 ° C por 24 horas, se repicaron sobre medio de identificación bioquímica diferencial de Indol (I), Rojo de Metilo (RM), Voges

Proskauer (VP) y Citrato (CIT), constituyentes de la Prueba del IMViC, para la identificación de *E. coli* y otras coliformes fecales.

### **3.7. Parámetros físicos – químicos**

#### **3.7.1. Determinación del pH del agua**

Se determinó con ayuda del potenciómetro o pH-metro EXTECH modelo 407227 debidamente calibrado (Método N° 11.032 de la AOAC).

#### **3.7.2. Determinación de temperatura del agua**

La temperatura se midió al momento de tomar las muestras con termómetros ambientales marca ROAST debidamente calibrados, tanto en el agua tomada del pozo, como la temperatura del ambiente alrededor del pozo, para luego calcular la diferencia como desviación de temperatura.

#### **3.7.3. Determinación del oxígeno disuelto (OD)**

Se determinó *In Situ* mediante el método de WINKLER modificado, utilizando una membrana adaptada a un biosensor equipado en un Oxímetro HANNA modelo HI 9146 debidamente calibrado, del agua de los pozos, realizando mediciones expresando los resultados en mg/L.

Se procedió de la siguiente manera:

- Se calibró adecuadamente el equipo después de retirar la capa protectora.
- Obtenida la muestra del pozo, se agitó durante 2 minutos para garantizar una cierta velocidad constante del fluido.
- Se sumergió la punta de la sonda en la muestra, asegurándose que el sensor de temperatura también esté sumergido.
- Se dejó el tiempo necesario para que tenga lugar el equilibrio térmico entre la sonda y la muestra, para constatar la lectura definitiva.

#### **3.7.4. Determinación de la demanda bioquímica oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Se determinó por el método de WINKLER utilizando el Oxímetro de membrana HANNA modelo HI 9146, para medir tanto el OD inicial (OD<sub>i</sub>) de las muestras y posteriormente a una incubación a temperatura ambiente por cinco días se midió el OD final (OD<sub>f</sub>) para obtener el DBO<sub>5</sub> expresado en mg/L aplicando la fórmula siguiente:

$$DOB_5 = \frac{OD_f - OD_i}{P}$$

Dónde: P = fracción de muestra analizada (dilución considerada)

El procedimiento fue el mismo que para OD, solo que se realizó con las muestras incubadas por cinco días. Se expresó los resultados en mg/L.

### **3.7.5. Determinación de nitratos en el agua**

Se determinó utilizando el equipo de prueba de Nitrato HANNA HI 3874 (APHWA, 1999), siguiendo el proceso que a continuación se indica:

- Se llenó la cubeta de cristal con 10 mL de la muestra.
- Se añadió 1 sobrecito de reactivo HI 3874-0.
- Se volvió a colocar la tapa y se agitó vigorosamente durante 1 minuto.
- Se esperó 4 minutos a que el color se desarrolle.
- Se retiró la tapa y se llenó el recipiente comparador de color con 5 mL de la muestra tratada. Se determinó qué color se empareja con la solución en el visor y se registró el resultado como mg/L de nitrato-nitrógeno ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )
- Para convertir la lectura a mg/L de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) se multiplicó por el factor 4,43.

### 3.7.6. Determinación de fósforo en el agua

Se determinó utilizando el equipo de prueba de Fosfato de HANNA HI 3833 (APHWA, 1999), siguiendo el proceso que a continuación se indica:

- Se retiró la tapa del vaso de plástico, se enjuagó el vaso de plástico con la muestra de agua, se llenó hasta la marca de 10 mL.
- Se añadió 1 paquete de reactivo HI 3833-0.
- Se colocó la tapa y se mezcló la solución hasta que los sólidos se disuelvan.
- Se quitó la tapa y se transfirió la solución al cubo comparador de color.
- Se dejó reposar durante 1 minuto
- Se determinó que color se ajusta mejor a la solución en el vaso y se registró los resultados como mg/L de Fosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ).

### 3.7.7. Determinación de sólidos suspendidos

La determinación de los sólidos suspendidos de las muestras se realizó por el método N° 2540 APHWA, (1992), por medio de la técnica de diferencia de pesos sobre papel de filtro. Para ello se tomó 1 litro de cada

muestra y en un sistema de filtración con papel de filtro, previamente pesado, se filtró en matraz de 1L, el papel se llevó a 37°C por 24 horas, luego se pesó el papel y se hizo el cálculo de diferencias aplicando la fórmula:

$$\text{STS mg/L} = (A - B) \times 1000 / \text{volumen de la muestra (L)}$$

Dónde: A = peso del papel filtro + residuo seco (mg)

B = peso del papel filtro (mg).

### **3.7.8. Determinación de turbidez**

Se determinó mediante la utilización de un turbidímetro HANNA modelo HI 98703 por el método nefelométrico en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT), a una longitud de onda de 860 nm. Se procedió de la siguiente manera:

- Se encendió el instrumento. Se colocó el instrumento sobre una superficie plana y estable.
- Se llenó la cubeta de muestra de agua, hasta 15 mL, se sujetó la cubeta por la parte superior, se tapó la cubeta.
- Se limpió la cubeta con un paño suave y sin pelusa para eliminar las manchas de agua y las huellas de los dedos.

- Se Introdujo la cubeta de muestra en el compartimento, de modo que el diamante o la marca de orientación de la cubeta, coincida con la de orientación marcada en relieve delante del compartimento de la cubeta. Se cerró la tapa.
  
- Se realizó la lectura.

### **3.8. Determinación del Índice de calidad de agua**

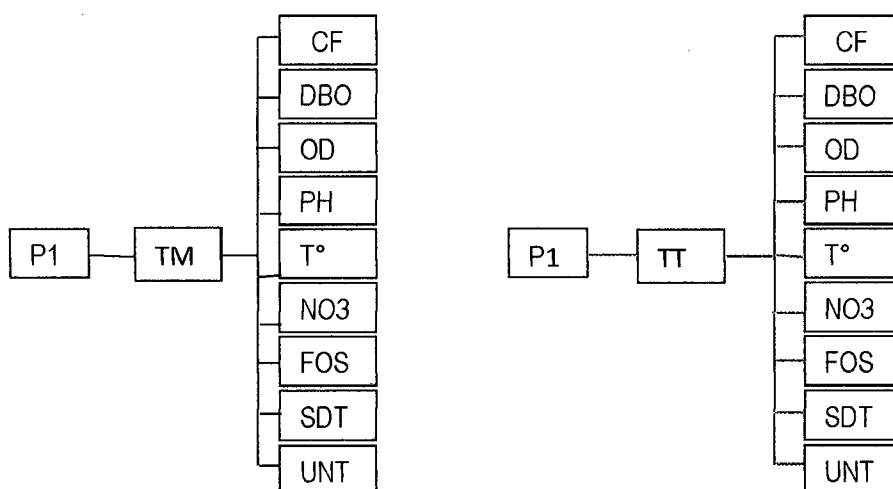
En la determinación del ICA (WQI) según la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF-USA) se consideraron 9 parámetros que a continuación se señalan:

- Coliformes Fecales (en NMP *E.coli* /100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Oxígeno disuelto (% de saturación)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub> en mg/L)
- Nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/L)
- Fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en UNT)
- Sólidos disueltos totales (en mg/L)

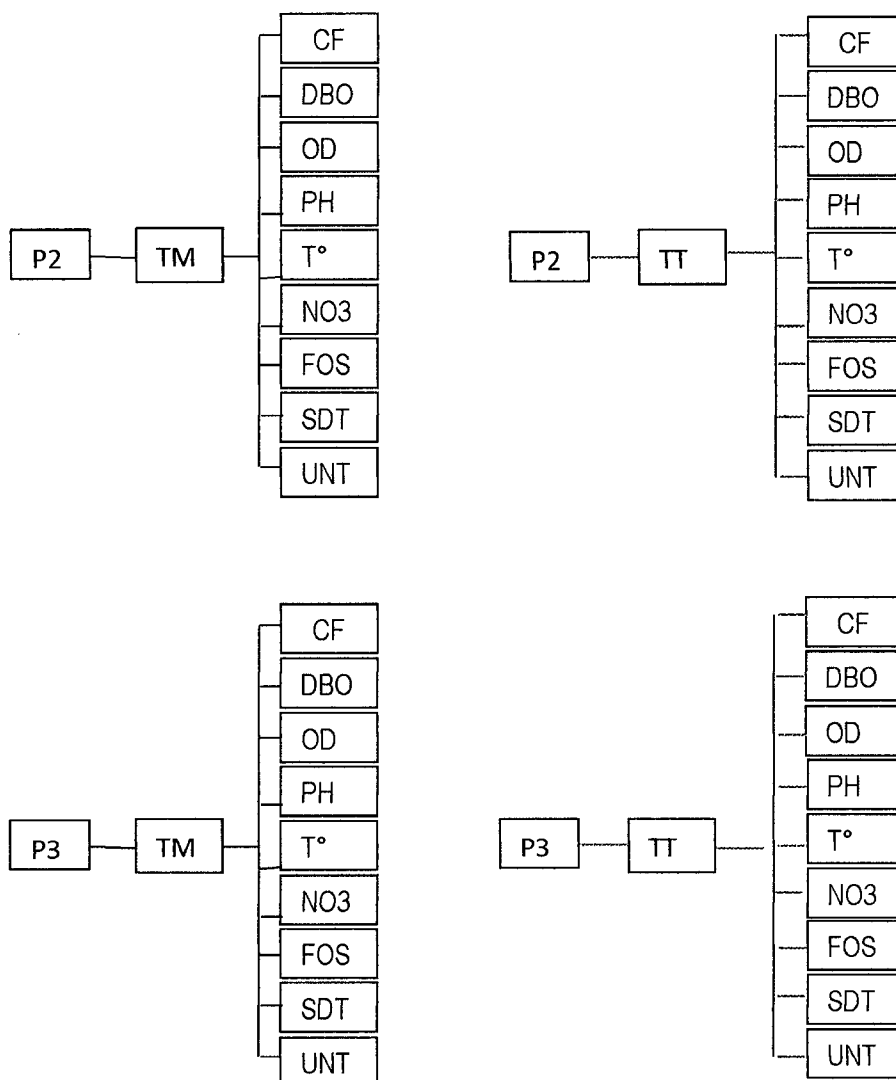
Se procesaron los datos obtenidos de las determinaciones fisicoquímicas y de coliformes fecales en el programa ICA TEST 1.0, para cada pozo de estudio en los meses de junio, julio, agosto y setiembre.

### 3.9. Diseño experimental

Se aplicó un diseño descriptivo longitudinal correlacional del estudio de calidad de agua de tres pozos, determinándose en cada uno de ellos 9 parámetros de calidad en dos horarios diferentes, con tres repeticiones muestrales, y cuatro repeticiones generales, según el siguiente esquema:







Donde:

- P1, P2 y P3 = Pozos
- OD = oxígeno disuelto
- TM = turno mañana
- TT = turno tarde
- DBO<sub>5</sub> = demanda bioquímica de oxígeno
- NO<sub>3</sub> = nitratos
- Fos = fósforo
- SDT = sólidos suspendidos totales
- CF = coliformes fecales
- UNT = turbidez
- T° = temperatura
- pH = pH

### 3.9.1. Tratamientos en estudio

Los tratamientos estuvieron conformados por: el agua de tres pozos (P) muestreados en dos horarios (H) diferentes obteniéndose tres muestras por horario (MH), determinándose 9 parámetros (Param) en cada uno, repitiéndose las evaluaciones cada 30 días hasta por cuatro veces., evaluándose 54 tratamientos con tres repeticiones por cada mes (3P x 9Param x 2H x 3 MH=162).

En el cuadro 4 se anotan los tratamientos en estudio.

Cuadro 4. Composición de los tratamientos del estudio

<b>Puntos muestreo (Pozo)</b>	<b>Muestra (M)</b>	<b>Horario (H)</b>	<b>N° de muestras recolectadas</b>	<b>Muestras Tomada para el estudio (T)</b>	<b>N° Repeticiones (mensual)</b>
P1	Agua	6 a.m.	3	T1-T3	4
		4 p.m.	3	T4-T6	
P2	Agua	6 a.m.	3	T7-T9	4
		4 p.m.	3	T10-T12	
P3	Agua	6 a.m.	3	T13-T15	4
		4 p.m.	3	T16-T18	

### **3.9.2. Variables e indicadores**

#### **3.9.2.1. Variables**

- **Dependiente** : Índice de calidad de agua (ICA-NSF)
- **Independiente** : Agua de pozo.

#### **3.9.2.2. Indicadores**

##### **Variable dependiente**

- Nivel de calidad (excelente, buena, media, mala, muy mala)

##### **Variable independiente**

- Concentración m.o. coliformes (NMP/100 mL)
- Concentración de OD (% de saturación)
- Concentración de DBO5 (mg/L)
- Concentración de nitratos (mg/L)
- Concentración de fósforo (mg/L)
- Concentración de SST (mg/L)
- Concentración de pH
- Determinación de turbidez (UNT)

- Temperatura (°C)

### **3.10. Ajuste estadístico**

Se determinaron los descriptivos estadísticos y el análisis de correlación de Pearson para comprobar la relación existente entre los resultados de los tratamientos de acuerdo al diseño experimental: tres pozos (3P) muestreados en dos horarios diferentes (2H) con tres repeticiones por horarios (3MH) y 4 repeticiones generales (4R). Se utilizó el paquete STATIGRAFS versión 5.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Determinación de coliformes fecales

En el Cuadro 6 se presentan los promedios de los resultados de coliformes fecales (NMP/100ml) encontrados en el agua de los tres pozos luego del estudio con 4 repeticiones, así como el promedio por muestreo, promedio por pozo, y el promedio por total del muestreo por la mañana.

Cuadro 6. Promedio de coliformes fecales (NMP/100ml) en el turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco - Ucayali.

N° Muestreo mensual	Turno mañana				
	COLIFORMES FECALES (NMP/100ml)			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	43	23	15	27	
2° (julio)	23	23	7	17.67	26
3° (agosto)	23	43	23	29.67	
4° (setiembre)	43	23	23	29.67	
Promedio pozo	33	28	17		

En el Cuadro 7 se presentan datos de coliformes fecales (NMP/100ml) encontrados en el agua de los tres pozos correspondientes al promedio del estudio con 4 repeticiones, así como el promedio por muestreo, promedio por pozo, y el promedio por total del muestreo en horas de la tarde.

Cuadro 7. Promedio de coliformes fecales (NMP/100ml) en el turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco - Ucayali.

N° Muestreo mensual	Turno tarde				
	COLIFORMES FECALES (NMP/100ml)				
	Promedio de tres muestras por pozo			Promedio muestreo	Promedio total
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	23	43	43	36.33	29
2° (julio)	23	43	23	29.67	
3° (agosto)	23	23	15	20.33	
4° (setiembre)	43	23	23	29.67	
Promedio pozo	28	33	26		

En la Figura 1 se gráfica los promedios de coliformes fecales determinados en los tres pozos tanto en los turnos de mañana y tarde respectivamente.

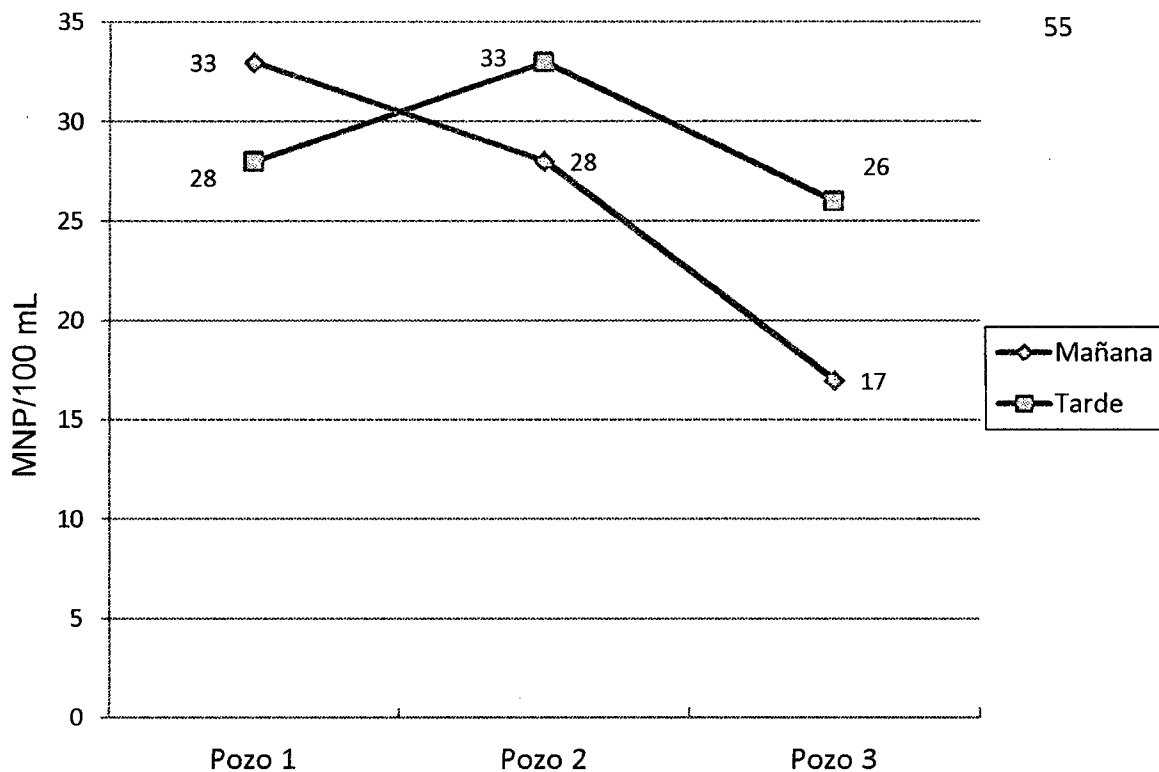


Figura 1. Promedio de coliformes fecales determinados en el agua de tres pozos de Pueblo Nuevo del Caco-Ucayali

## 4.2. Determinación de parámetros físicos - químicos

### 4.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno del agua de los tres pozos correspondientes a horas de la mañana, en el que podemos observar que los datos del pozo 1 son menores con respecto a los otros con un promedio de 2.39 mg/L, y del mismo modo el promedio total considerando los tres pozos y cuatro muestreos es de 2.80 mg/L.

Cuadro 8. Promedio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) del turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco - Ucayali.

Turno mañana					
N° Muestreo	DBO <sub>5</sub> (mg/L)			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Promedio de tres muestras por pozo				
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	3.39	3.03	3.43	3.28	2.80
2° (julio)	1.74	2.75	2.47	2.32	
3° (agosto)	2.42	3.24	3.92	3.19	
4° (setiembre)	2.01	2.94	2.3	2.42	
Promedio pozo	2.39	2.99	3.03		

En el Cuadro 9 se indican los resultados encontrados para la demanda bioquímica de oxígeno de los tres pozos correspondientes al estudio en 4 repeticiones, en horas de la tarde, en el que denotamos que el pozo 3 es el que muestra menores valores de DBO<sub>5</sub> (2.74 mg/L) en comparación con el pozo 1 que incrementó su medida respecto a lo indicado en horas de la mañana. No obstante los promedios por muestreo se incrementaron lo mismo que el promedio total que se incrementó a 3.05 mg/L.

Asimismo, en la Figura 2 se grafica los promedios de la DBO<sub>5</sub> de los tres pozos en los dos turnos mañana y tarde.



Cuadro 9. Promedio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) del turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco - Ucayali.

Turno tarde					
N° Muestreo	DBO <sub>5</sub> (mg/L)			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Promedio de tres muestras por pozo				
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	3.42	4.01	2.97	3.47	3.05
2° (julio)	2.96	3.13	1.90	2.66	
3° (agosto)	3.24	3.45	3.21	3.3	
4° (setiembre)	2.44	2.98	2.87	2.76	
Promedio pozo	3.02	3.39	2.74		

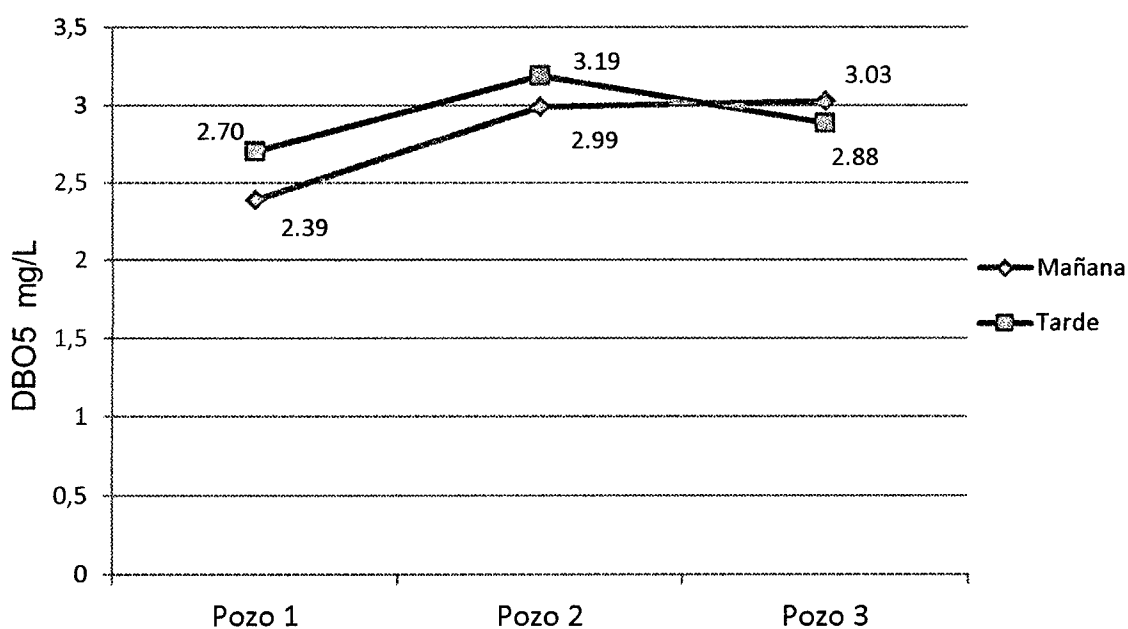


Figura 2. Promedio de DBO<sub>5</sub> determinados en tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco-Ucayali.

#### 4.2.2. Oxígeno disuelto

Con respecto al oxígeno disuelto del agua de los tres pozos correspondientes al estudio en 4 repeticiones, en el Cuadro 10 se presentan los resultados de las mediciones en horas de la mañana, mostrando el pozo 3 bajos valores de promedio en el porcentaje de saturación de oxígeno (60.63), con un promedio total de 67.68 % de saturación de oxígeno.

Cuadro 10. Promedio de oxígeno disuelto (OD) del turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

Turno mañana					
N° Muestreo	OD (% Saturación)			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Promedio de tres muestras por pozo				
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	86.04	83.86	69.36	79.75	
2° (julio)	68.05	58.56	57.47	61.36	
3° (agosto)	67.07	55.83	44.38	55.76	67.68
4° (setiembre)	80.04	70.23	71.32	73.86	
Promedio pozo	75.30	67.12	60.63		

En el mismo sentido en el Cuadro 11 se presentan datos del oxígeno disuelto del agua de los tres pozos correspondientes al muestreo realizado por la tarde, observándose la misma condición del pozo 3 que tiende a bajar el porcentaje de saturación en cada una de la repeticiones efectuadas, situándose el promedio en 63.21 % de saturación de oxígeno.

Cuadro 11. Promedio de Oxígeno disuelto (OD) del Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC. NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

Turno tarde					
N° Muestreo	OD (% Saturación)			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Promedio de tres muestras por pozo				
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	76.99	73.06	62.16	70.74	
2° (julio)	59.98	63.90	63.25	62.38	
3° (agosto)	69.47	44.93	44.17	52.85	63.21
4° (setiembre)	76.12	62.92	61.61	66.88	
Promedio pozo	70.64	61.21	57.80		

En la Figura 3 se gráfica los promedios de % Sat. OD determinados en los tres pozos tanto en los turnos de mañana y tarde respectivamente.

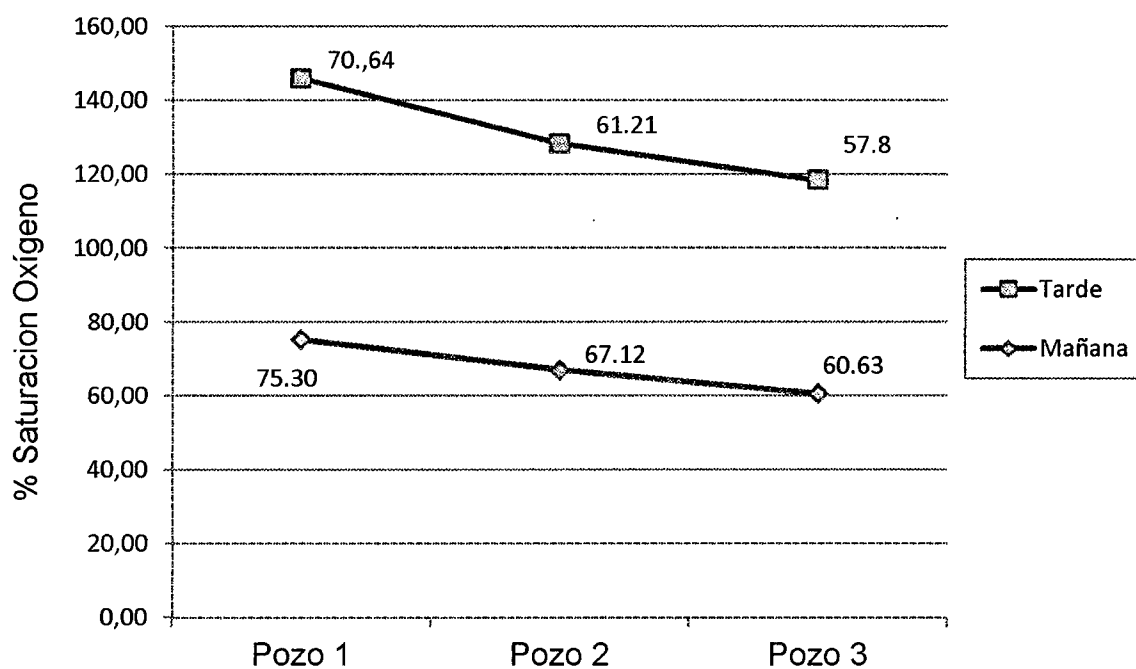


Figura 3. Promedio de OD (% de saturación) determinado en tres pozos de comunidad nativa Pueblo Nuevo-Ucayali.

#### 4.2.3. Nitratos

Los resultados referentes a Nitratos ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) encontrados en el estudio del agua de tres pozos en horas de la mañana, se anotan en el Cuadro 12, indicándose que los valores promedio casi son invariables para los tres pozos con un promedio total final de 9.25 mg/L de  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

Cuadro 12. Promedio de Nitratos (mg/L) del Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	Turno mañana				Promedio por muestreo	Promedio Total
	NITRATOS (NO <sub>3</sub> -N)					
	(mg/L)					
	Promedio de tres muestras por pozo					
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3			
1° (junio)	8	8	10	8.67		
2° (julio)	9	10	10	9.67	9.25	
3° (agosto)	10	7	9	8.67		
4° (setiembre)	10	10	10	10		
Promedio pozo	9.25	8.75	9.75			

En el Cuadro 13 se presentan datos de nitratos encontrados en el agua de los tres pozos correspondientes al estudio en 4 repeticiones en horas de la tarde, observando un promedio total general de 8,83 mg/L. Del mismo modo en la Figura 4 se grafican los valores promedio por pozo encontrados en la determinación de nitratos.

Cuadro 13. Promedio de nitratos (mg/L) del turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC. NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	Turno tarde				Promedio por muestreo	Promedio Total
	NITRATOS (NO <sub>3</sub> -N)			Promedio de tres muestras por pozo		
	(mg/L)					
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3			
1° (junio)	9	8	10	9		
2° (julio)	9	8	8	8,33	8,83	
3° (agosto)	8	9	10	9		
4° (setiembre)	10	7	10	9		
Promedio pozo	9	8	9,5			

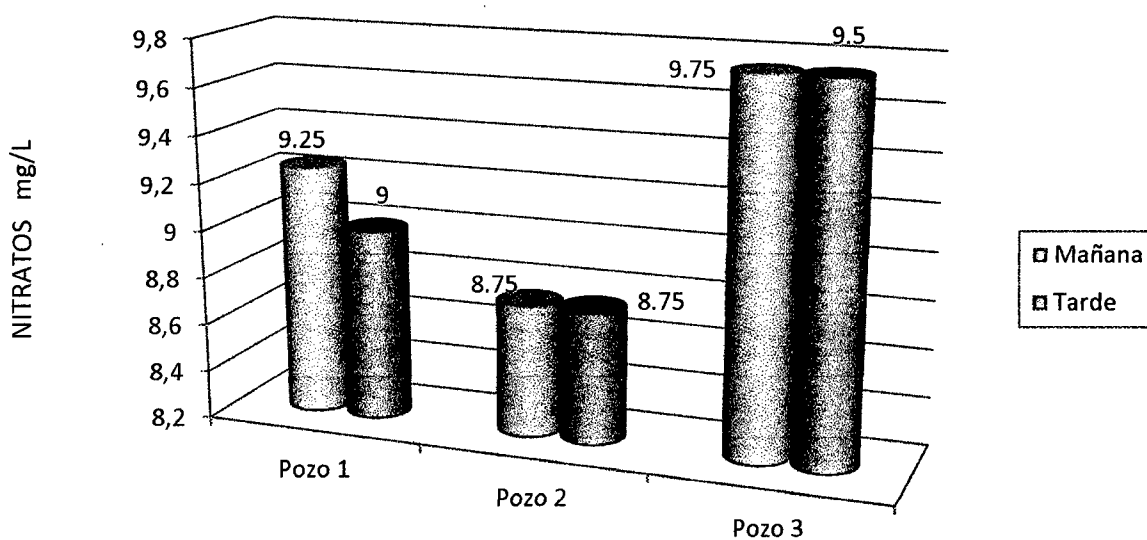


Figura 4. Promedios de determinación de nitratos (mg/L) en agua de tres pozos de la comunidad nativa d Pueblo Nuevo – Ucayali.

#### 4.2.4. pH

Los datos de pH encontrados en el agua de los tres pozos, en el turno de mañana, se indican en el Cuadro 14, en donde se puede observar que los promedios de los pozos 2 y 3 muestran un pH cercano a la neutralidad en el rango de  $7.0 \pm 0.2$ , no así el pozo 1 que mantiene un pH ligeramente ácido fuera del rango mencionado.

Cuadro 14. Promedio del pH del turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN.Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	Turno mañana				
	pH (Unidad)			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Promedio de tres muestras por pozo				
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	6.35	6.76	7.05	6.72	
2° (julio)	7.27	6.93	7.48	7.23	6.89
3° (agosto)	6.05	6.35	6.41	6.27	
4° (setiembre)	6.95	7.45	7.65	7.35	
Promedio pozo	6.66	6.87	7.15		

En el Cuadro 15 se presentan datos de pH encontrados en el agua de los tres pozos correspondientes al turno de la tarde, donde se señala que se sigue la misma tendencia en los pozos 2 y 3 y el pozo 1 mantiene la ligera acidez.

Cuadro 15. Promedio del pH del turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	Turno tarde				
	pH (Unidad)			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Promedio de tres muestras por pozo				
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	6.29	6.99	6.6	6.62	6.86
2° (julio)	7.38	7.3	7.69	7.45	
3° (agosto)	6.17	6.39	6.28	6.28	
4° (setiembre)	6.89	7.65	6.78	7.10	
Promedio pozo	6.68	7.08	6.83		

En la Figura 5 se grafican los promedios del pH de cada uno de los pozos en los turnos de mañana y tarde.

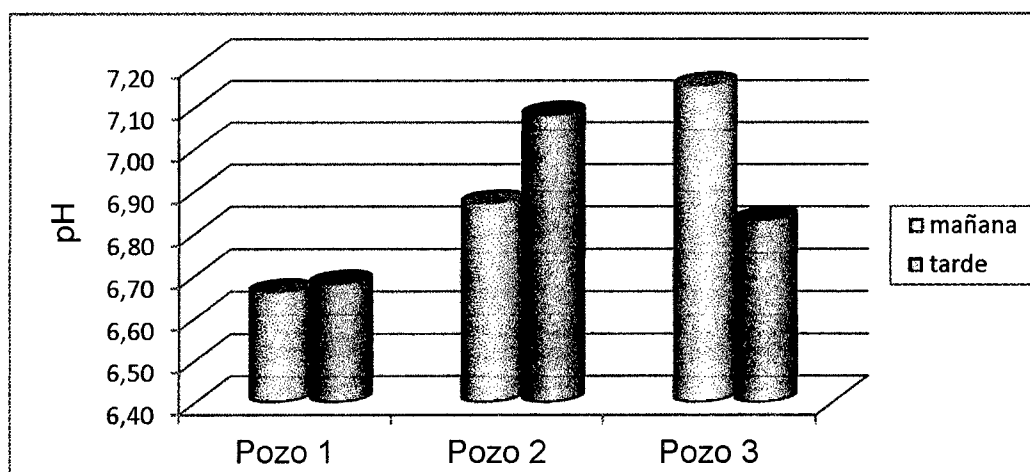


Figura 5. Promedio del pH del agua determinados en tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo – Ucayali.



## 4.2.5. Temperatura

### 4.2.5.1. Temperatura ambiente

En el Cuadro 16 se presentan datos de la temperatura ambiente en horas de la mañana encontrados en los alrededores de los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco, Región Ucayali, mostrando que en el cuarto muestreo y sobre todo para el pozo 3 la temperatura se incrementó en un grados con respecto al muestreo anterior, teniéndose como promedio total 25,75 °C.

Cuadro 16. Promedio de la temperatura ambiente en el Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC. NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	Turno mañana				
	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)				
	Promedio de tres muestras por pozo			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	24	25	26	25,00	
2° (julio)	24	26	27	25,67	25,75
3° (agosto)	25	26	27	26,00	
4° (setiembre)	25	26	28	26,33	
Promedio pozo	24,50	25,75	27,00		

Los datos de la temperatura ambiente en horas de la tarde, se enlistan en el Cuadro 17, donde se puede observar que el incremento de la temperatura ambiental ha sido mucho mayor.

Cuadro 17. Promedio de la temperatura ambiente en el Turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC. NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	Turno tarde				Promedio por muestreo	Promedio Total
	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)			Promedio de tres muestras por pozo		
	Promedio de tres muestras por pozo					
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3			
1° (junio)	26	26	28	26.67		
2° (julio)	25.5	27	28	26.83	26.96	
3° (agosto)	26	27	27.5	26.83		
4° (setiembre)	26	28	28.5	27.50		
Promedio pozo	25.88	27	28			

En la Figura 6 se puede apreciar los promedios de la temperatura externa tanto en el turno de la mañana como el de la tarde, en donde claramente se puede apreciar la variación en incremento de la temperatura alrededor de los pozos de agua.

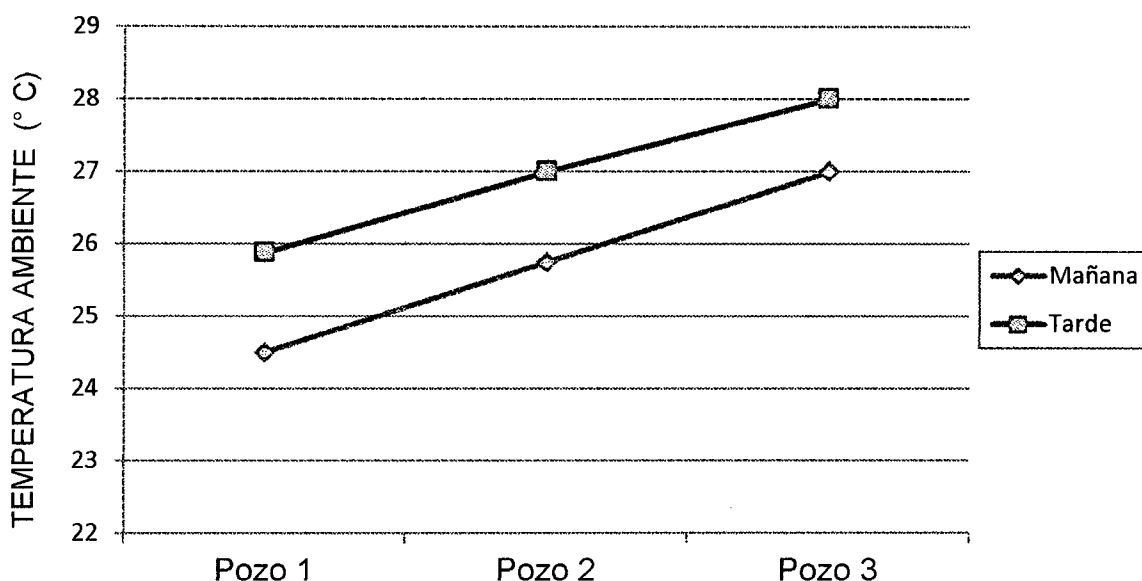


Figura 6. Promedio de las temperaturas ambientales de los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo – Ucayali.

#### 4.2.5.2. Temperatura del agua

Las determinaciones de las mediciones de la temperatura del agua se anotan en el Cuadro 18 se presentan datos de la temperatura del agua de los tres pozos, donde se puede apreciar que la temperatura del agua en los pozos se mantiene casi con promedios por pozo de 22.50 °C, promedio por muestreo de 22.30 °C y un promedio total de 22.42 °C.

Cuadro 18. Promedios de la temperatura de agua en el Turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	Turno mañana				Promedio por muestreo	Promedio Total
	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)					
	Promedio de tres muestras por pozo					
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3			
1° (junio)	22	23	23	22.67		
2° (julio)	23	22	22	22.33	22.42	
3° (agosto)	22	22	23	22.33		
4° (setiembre)	22	23	22	22.33		
Promedio pozo	22.25	22.50	22.50			

En el Cuadro 19 se presentan datos de la temperatura del agua encontrados en el agua de los tres pozos durante el muestreo por la tarde, donde se aprecia que la temperatura a pesar que se incrementó ligeramente tiende a permanecer constante con promedios por muestreo de 23.17 °C y un promedio total de 23.25 °C.

Cuadro 19. Promedios de la temperatura de agua en el Turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	Turno tarde				Promedio por muestreo	Promedio Total
	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)					
	Promedio de tres muestras por pozo					
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3			
1° (junio)	23	23.5	24	23.50	23.25	
2° (julio)	23	23.5	23	23.17		
3° (agosto)	23	23.5	23	23.17		
4° (setiembre)	23	24	22,5	23.17		
Promedio pozo	23	23.63	23.13			

En La figura 7 se grafican los promedios de la temperatura del agua en los turnos de mañana y tarde, de los pozos estudiados.

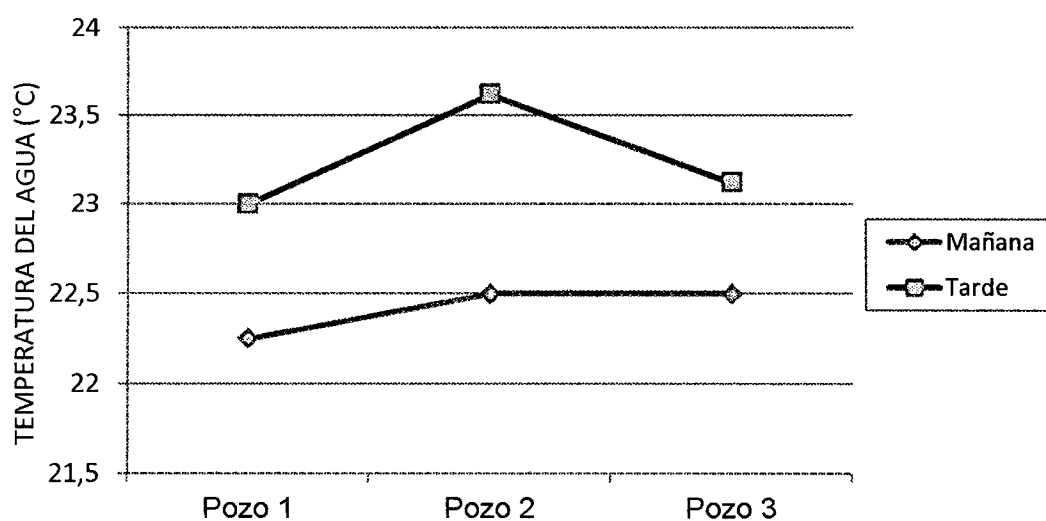


Figura 7. Promedio de la temperaturas del agua de los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo – Ucayali.

#### 4.2.6. Sólidos disueltos totales (SDT)

Los promedios de los datos de sólidos disueltos totales (SDT) encontrados en el agua de tres pozos muestreados en el turno de la mañana se señalan en el Cuadro 20, observándose que en el pozo 1 se determinaron menor concentración (790 mg/L) de SDT y en el pozo la mayor concentración de éstos (1,007 mg/L), pero en términos generales el promedio total (906 mg/L) no excede de los 1,000 mg/L que es considerado el límite permisible para agua de categoría A-1 (que pueden potabilizarse) incluso para aguas de pozo (MAMANI, 2012).

Cuadro 20. Promedio de Sólidos totales en el turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	TURNO MAÑANA				
	SOLIDOS TOTALES (mg/L)			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Promedio de tres muestras por pozo				
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	245	1 072	1 365	894	
2° (julio)	885	919	0.722	842	906
3° (agosto)	952	995	954	967	
4° (setiembre)	790	988	985	921	
Promedio pozo	718	994	1,007		

En el Cuadro 21 se presentan datos de los sólidos totales encontrados en el agua de tres pozos correspondientes a las determinaciones efectuadas en el turno de la tarde, donde se puede apreciar que el valor promedio total se mantiene con respecto a lo medido en el turno de la mañana.

Cuadro 21. Promedio de sólidos totales en el turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC. NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	Turno tarde				
	SOLIDOS TOTALES (mg/L)			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Promedio de tres muestras por pozo				
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	764	1,507	1,311	1,194	
2° (julio)	924	876	1,022	941	937
3° (agosto)	953	549	981	828	
4° (setiembre)	807	654	894	785	
Promedio pozo	862	896	1,052		

En la Figura 8 se indican los promedios de las mediciones de sólidos disueltos totales en los tres pozos muestreados.

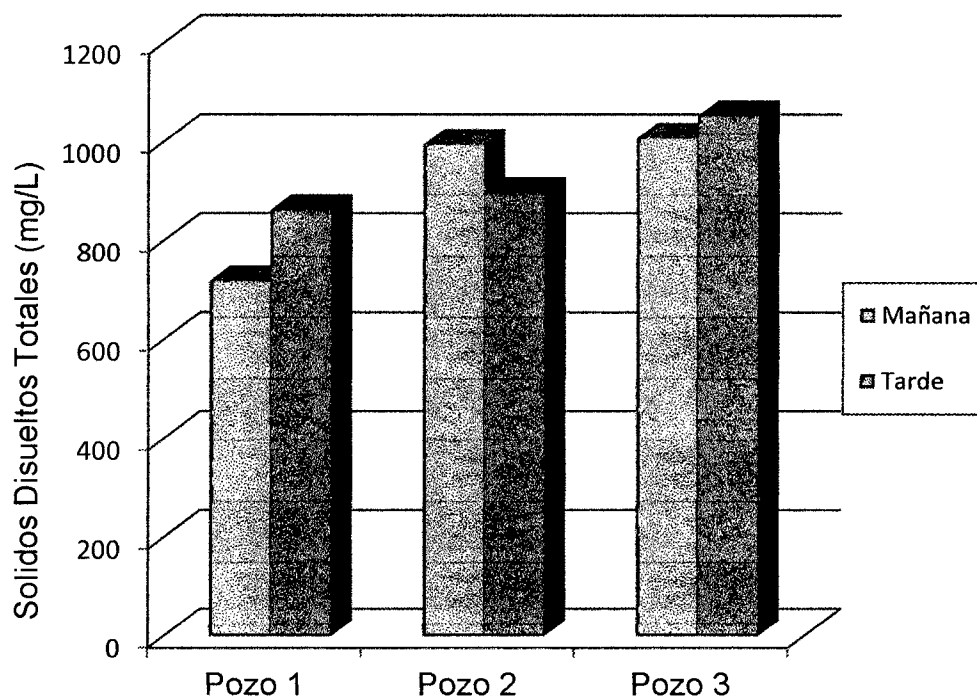


Figura 8. Promedios de la determinación de sólidos disueltos totales (SDT) en los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo – Ucayali.

#### 4.2.7. Fosfatos

En el Cuadro 22 se presentan datos de los promedios determinados de fosfatos en el agua de los tres pozos analizados en el turno de la mañana, en el cual se aprecia que el pozo 1 ostenta el menor promedio de fosfato (2.75 mg/L), en tanto que los pozos 2 y 3 tienen los mismo valores (4.50 mg/L) de fosfatos.



Cuadro 22. Promedios de fosfato (mg/L) en el turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC. NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	Turno mañana				Promedio por muestreo	Promedio Total
	FOSFATO (mg/L)					
	Promedio de tres muestras por pozo					
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3			
1° (junio)	1	5	4	3.33		
2° (julio)	2	3	3	2.67	3.92	
3° (agosto)	5	5	7	5.67		
4° (setiembre)	3	5	4	4.00		
Promedio pozo	2.75	4.50	4.50			

Las determinaciones de fosfatos efectuadas en el turno de la tarde correspondientes a los tres pozos estudiados se anotan en el cuadro 23 donde podemos apreciar que los promedios por pozo son similares con un promedio total de 4.91 mg/L de fosfatos.

Cuadro 23. Promedios de Fosfato (mg/L) en el turno tarde del agua de tres pozos de consumo humano de la CC. NN. Pueblo Nuevo - Ucayali

N° Muestreo	Turno tarde				
	FOSFATO (mg/L)			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Promedio de tres muestras por pozo				
Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3			
1° (junio)	4	5	4	4.33	4.9167
2° (julio)	4	4	5	4.33	
3° (agosto)	5	6	5	5.33	
4° (setiembre)	5	7	5	5.67	
Promedio pozo	4.5	5.5	4.75		

En la figura 9 se indican los promedios de las mediciones de fosfatos en los tres pozos muestreados.

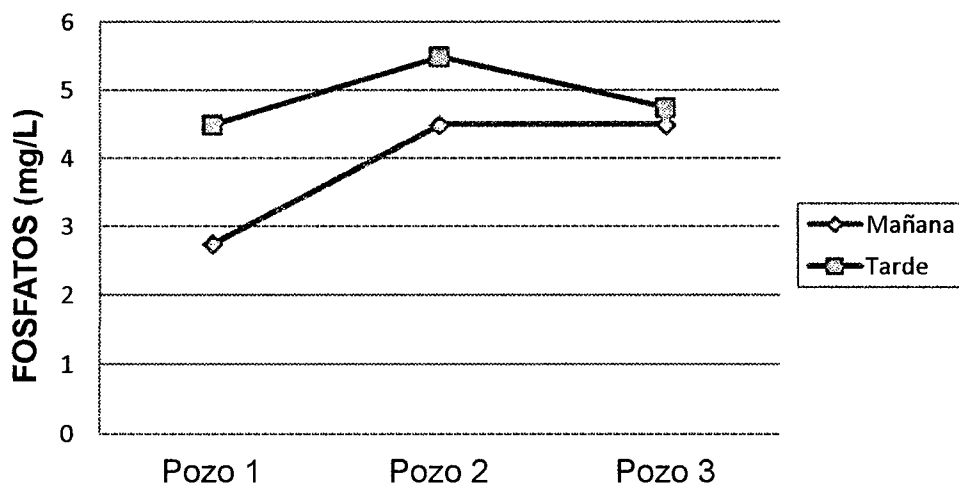


Figura 9. Promedios de la determinación de fosfatos (mg/L) en los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo – Ucayali.

#### 4.2.8. Turbidez

En el Cuadro 24 se presentan los promedios de los datos de turbidez encontrados en el agua de tres pozos correspondientes al estudio realizado en el turno de la mañana apreciándose valores muy bajos por lo que el aspecto del agua de los pozos se mantiene transparente. El promedio total se sitúa en 0.49 UNT (unidades nefelométricas de turbidez).

Cuadro 24. Promedio de la Turbidez (UNT) en el turno mañana del agua de tres pozos de consumo humano de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	Turno mañana				Promedio Total
	TURBIDEZ (UNT)			Promedio por muestreo	
	Promedio de tres muestras por pozo				
	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3		
1° (junio)	0.36	0.48	0.33	0.39	0.49
2° (julio)	0.58	0.44	0,84	0.62	
3° (agosto)	0.34	0.49	0.65	0.49	
4° (setiembre)	0.42	0.42	0.56	0.47	
Promedio pozo	0.43	0.46	0.60		

Del mismo modo los promedios de los datos tomados de turbidez en el turno de la tarde se enlistan en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Promedio de la turbidez (UNT) en el turno tarde del agua de tres pozos de la CC.NN. Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

N° Muestreo	TURNO TARDE				
	TURBIDEZ (UNT)			Promedio por muestreo	Promedio Total
	Promedio de tres muestras por pozo				
Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3			
1° (junio)	0.31	0.59	0.27	0.39	
2° (julio)	0.63	0.68	0.40	0.57	0.44
3° (agosto)	0.52	0.41	0.37	0.43	
4° (setiembre)	0.34	0.44	0.33	0.37	
Promedio pozo	0.45	0.53	0.3425		

En la Figura 10 se grafican los valores promedios de los datos de turbidez de los tres pozos analizados.

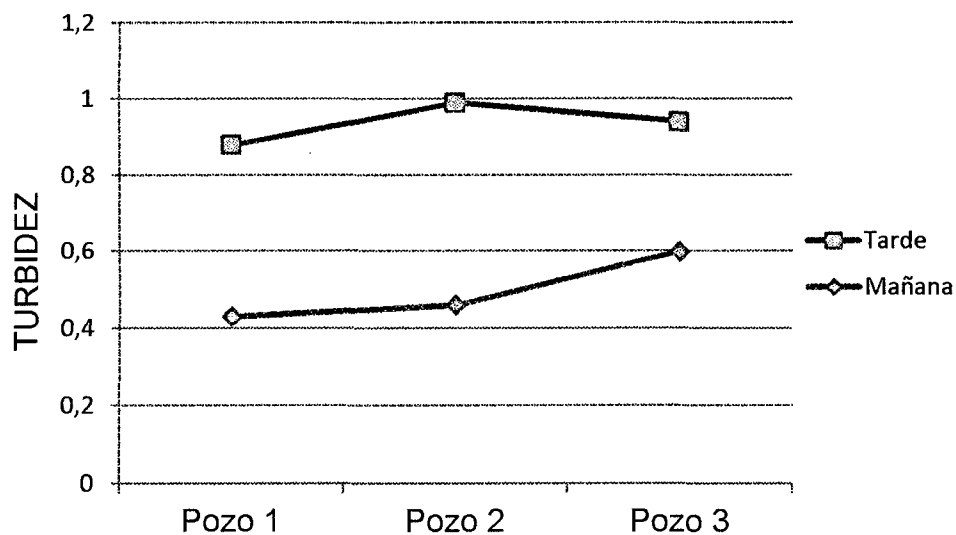


Figura 10. Promedios de la determinación de turbidez (UNT) en los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo – Ucayali.

#### 4.3. Determinación del nivel de calidad de agua de tres pozos que abastecen a la comunidad nativa Pueblo Nuevo - Ucayali.

En los Cuadro 26 se anotan los promedios de los resultados de los parámetros medidos para el Pozo 1, que sirven para la determinación del ICA.

Cuadro 26. Promedio de los parámetros medidos en Pozo 1 para determinar el Índice de Calidad del agua (ICA)

Parámetros Pozo 1									
TURNOS	DBO (mg/L)	OD (% sat)	Coliformes fecales (mo/100 ml)	Nitrato (NO <sub>3</sub> -N) (mg/L)	pH	T° ICA (°C)	Sólidos totales (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Turbidez (NTU)
Mañana	2.39	87.74	33.00	9.25	6.66	2.3	0.72	2.75	0.43
Tarde	3.02	83.04	28.00	9	6.68	2.9	0.86	4.5	0.45
Promedio	2.71	85.39	30.5	9.13	6.67	2.6	0.79	3.63	0.44

Para la determinar el índice de calidad de agua de los pozos se utilizó el programa ICATest v.1,2 considerando la hoja de cálculo que se indica en el Cuadro 27, en la cual se establece el Valor-Q para el agua del pozo 1, el que se multiplica por el Factor de ponderación para encontrar el índice total de manera virtual. Asimismo, en el Cuadro 28 se señala los resultados del cálculo

del ICA para el pozo 1 indicándose que es de Muy Mala (Pobre) calidad ubicándose en el Rango de 0 -25 en la escala de color Rojo.

Cuadro 27. Hoja de cálculo para el índice NSF, determinado en ICATest v.1,0

PARÁMETRO	RESULTADOS	VALOR-Q	FACTOR DE PONDERACIÓN	TOTAL
DBO	2.71 (mg/L)	5	0.11	0.55
Oxígeno Disuelto	85.39 (% Sat)	50	0.17	8.5
Coliformes Fecales	30.5 (col/100 mL)	33.8	0.16	5.41
Nitratos	9.13 (mg/L)	1	0.1	0.1
pH	6.67 (Unid)	0	0.11	0
Cambio de temperatura	2.6 (°C)	14.44	0.1	0.2
Sólidos totales	0.79 (mg/L)	85.21	0.07	5.96
Fosfatos totales	3.63 (mg/L)	2	0.1	0.2
Turbidez	0.44 (NTU)	42.6	0.08	3.41

Cuadro 28. Resultado del cálculo del índice de calidad del agua (ICA).  
determinado en ICATest v. 1.0.

<b>RESULTADOS DE ICATest</b>	
<b>Índice de calidad del agua</b>	
Número de parámetros	9
Valor del índice	25.57
Clasificación	Pobre (Muy Mala)
Rango	0 - 25
Escala de Color	Rojo

En la Figura 11 podemos apreciar gráficamente los resultados de los parámetros medidos para calcular el Índice de calidad de agua del pozo 1 considerando la escala de color según el rango calculado.

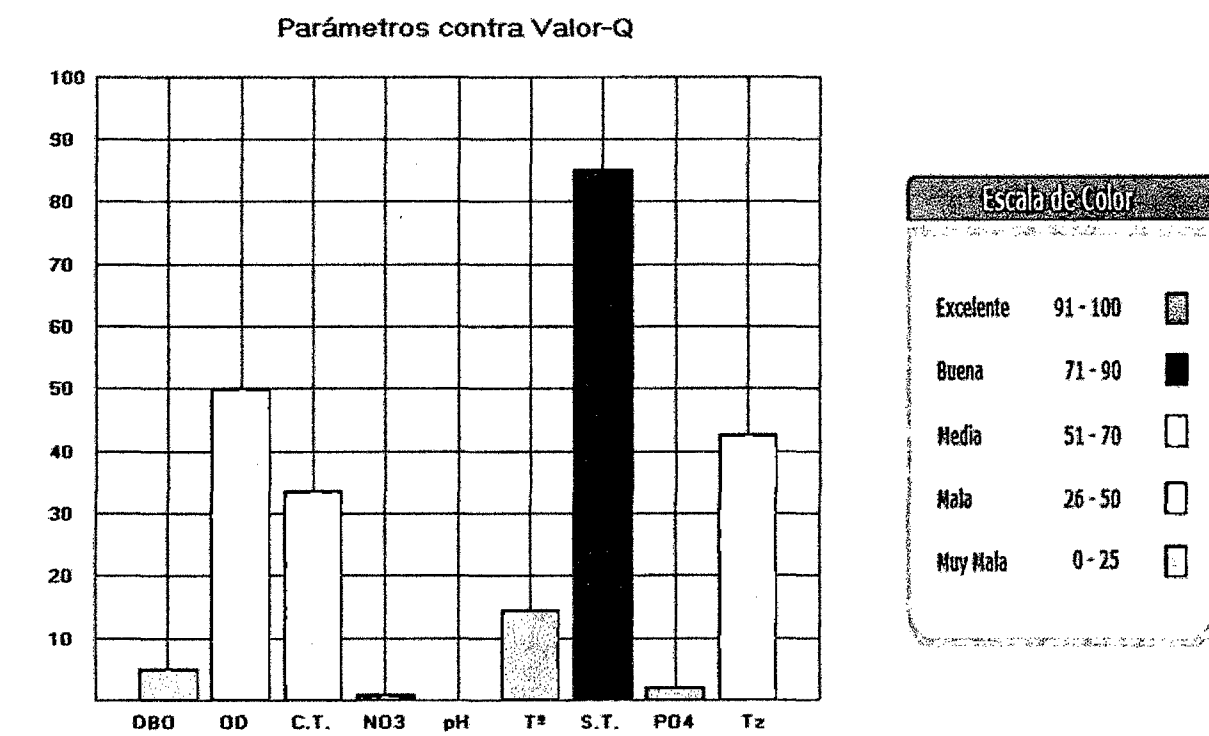


Figura 11. Parámetros promedios medidos para calcular el ICA del pozo 1 de la CC.NN. Pueblo Nuevo – Ucayali.

En el Cuadro 29 se enlistan los promedios de los parámetros medidos en el pozo 2 para la determinar el índice de calidad de agua utilizando el programa ICATest v.1.2 considerando la hoja de cálculo que se indica en el cuadro 30. Del mismo modo en el cuadro 31 se señalan los resultados del cálculo del ICA para el pozo 2 revelando que es de Mala calidad ubicándose en el Rango de 26 - 50 en la escala de color Naranja.

Cuadro 29. Promedio de los parámetros medidos en Pozo 2 para determinar el Índice de Calidad del agua (ICA)

Parámetros Pozo 2									
TURNOS	DBO (mg/L)	OD (% sat)	Coliformes fecales (mo/100 ml)	Nitrato (NO <sub>3</sub> -N) (mg/L)	pH	T° ICA (°C)	Sólidos totales (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Turbidez (NTU)
Mañana	2.99	78.91	28.00	8.75	6.87	3.25	0.99	4.50	0.46
Tarde	3.39	71.95	33.00	8	7.08	3.38	0.89	5.50	0.53
Promedio	3.19	75.43	30.5	8.38	6.97	3.31	0.94	5	0.49

Cuadro 30. Hoja de cálculo para el índice NSF. determinando en ICATest v.1.0 para el agua del pozo 2 de la CC.NN. Pueblo Nuevo – Ucayali.

PARÁMETRO	RESULTADOS	VALOR-Q	FACTOR DE PONDERACIÓN	TOTAL
DBO	3.19 (mg/L)	5	0.11	0.55
Oxígeno Disuelto	75.43 (% Sat)	50	0.17	8.5
Coliformes Fecales	30.5 (col/100 mL)	33.8	0.16	5.41
Nitratos	8.38 (mg/L)	1	0.1	0.1
pH	6.9 (Unid)	0	0.11	0
Cambio de temperatura	3.0 (°C)	81	0.1	8.1
Sólidos totales	0.94 (mg/L)	83.9	0.07	5.87
Fosfatos totales	5.0 (mg/L)	2	0.1	0.2
Turbidez	0.49 (NTU)	39.6	0.08	3.17



Cuadro 31. Resultado del cálculo del índice de calidad del agua del pozo 2 (ICA). determinado en ICATest v. 1.0.

<b>RESULTADOS DE ICATest</b>	
<b>Indice de calidad del agua</b>	
Número de parámetros	9
Valor del índice	31.9
Clasificación	Mala
Rango	26 - 50
Escala de Color	Naranja

En la Figura 12 podemos apreciar gráficamente los resultados de los parámetros medidos para calcular el Índice de calidad de agua del pozo 2 considerando la escala de color según el rango calculado.

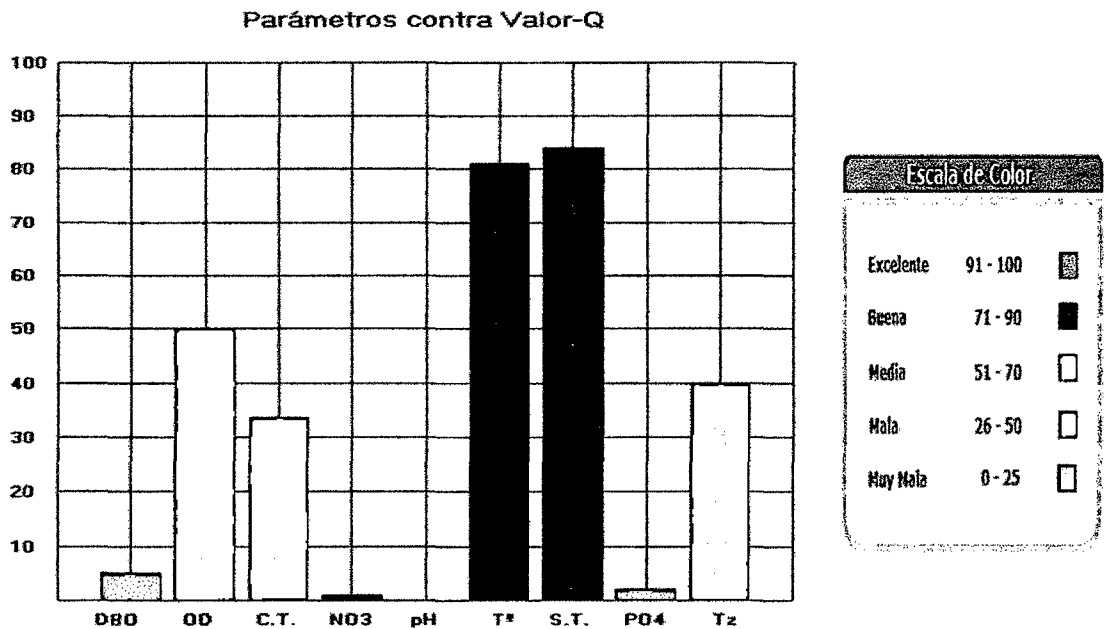


Figura 12. Parámetros promedios medidos para calcular el ICA del pozo 2 de la CC.NN. Pueblo Nuevo – Ucayali.

Los promedios de los parámetros medidos en el pozo 3 se anotan en el cuadro 32. éstos se utilizaron para completar la hoja de cálculo para determinar el índice NSF. utilizando el ICATest v. 1.0 la misma que se indica en el cuadro 33. obteniéndose como resultado un índice de 31.95 con un rango de 26 – 50 en una escala de color naranja tal como se anotan en el cuadro 34. Por otro en la figura 13 se grafican los valores de los parámetros medidos en el pozo 3 calculando los valores que resultan en el rango y escala de colores mencionados.

Cuadro 32. Promedio de los parámetros medidos en Pozo 3 para determinar el Índice de Calidad del agua (ICA).

Parámetros Pozo 3									
TURNOS	DBO (mg/L)	OD (% sat)	Coliformes fecales (mo/100 ml)	Nitrato (NO <sub>3</sub> -N) (mg/L)	pH	T° ICA (°C)	Solidos totales (mg/l)	Fosfato (mg/L)	Turbidez (NTU)
Mañana	3.03	71.28	17.00	9.75	7.15	3.75	1.007	4.5	0.60
Tarde	2.74	67.95	26.00	9.5	6.838	5.5	1.05	4.88	0.34
Promedio	2.88	69.62	21.5	9.63	6.99	4.63	1.03	4.68	0.47

Cuadro 33. Hoja de cálculo para el índice NSF. determinando en ICATest v.1.0 para el agua del pozo 3 de la CC.NN. Pueblo Nuevo – Ucayali.

PARÁMETRO	RESULTADOS	VALOR-Q	FACTOR DE PONDERACIÓN	TOTAL
DBO	3.19 (mg/L)	5	0.11	0.55
Oxígeno Disuelto	75.43 (% Sat)	50	0.17	8.5
Coliformes Fecales	30.5 (col/100 mL)	33.8	0.16	5.41
Nitratos	8.38 (mg/L)	1	0.1	0.1
pH	6.9 (Unid)	0	0.11	0
Cambio de temperatura	3.0 (°C)	81	0.1	8.1
Sólidos totales	0.94 (mg/L)	83.9	0.07	5.87
Fosfatos totales	5.0 (mg/L)	2	0.1	0.2
Turbidez	0.49 (NTU)	39.6	0.08	3.17

Cuadro 34. Resultado del cálculo del índice de calidad del agua del pozo 3 (ICA). determinado en ICATest v. 1.0.

<b>RESULTADOS DE ICATest</b>	
<b>Índice de calidad del agua</b>	
Número de parámetros	9
Valor del índice	31.95
Clasificación	Mala
Rango	26 - 50
Escala de Color	Naranja

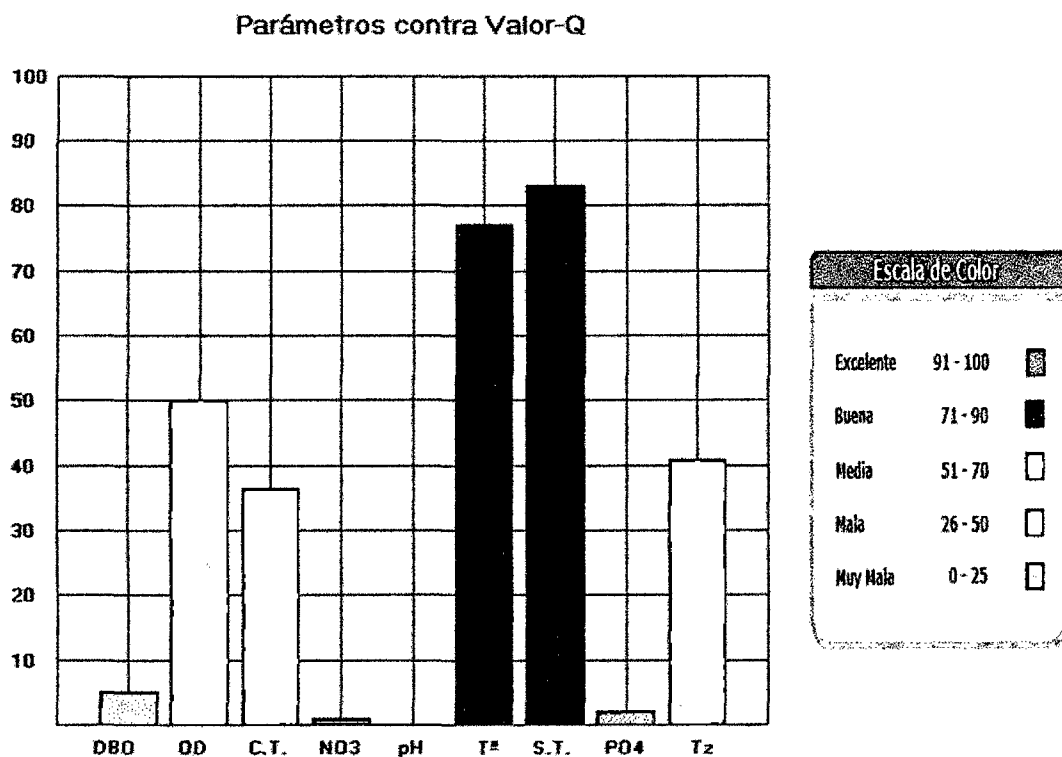


Figura 13. Parámetros promedios medidos para calcular el ICA del pozo 2 de la CC.NN. Pueblo Nuevo – Ucayali.

#### 4.4. Cálculo del ICA general de los 3 pozos

En el Cuadro 35 se muestran los promedios de los parámetros medidos en los tres pozos. de los cuáles se obtuvo un solo promedio total con el que se determinó el ICA general. Asimismo los datos introducidos en la hoja de cálculo para determinar el ICA total de los tres pozos en conjunto se indican en el Cuadro 36 y los resultados que establece el rango de 26 – 50 y la escala de color Naranja que clasifica como Mala el agua de los pozos. se señalan en el Cuadro 37. La Figura 14 gráfica estos valores en la escala de colores.

Cuadro 35. Determinación del ICA general de los tres pozos de agua que abastecen a la CC.NN. Pueblo Nuevo - Ucayali.

TURNOS	DBO (mg/L)	OD (% sat)	Coliformes fecales (mo/100 ml)	Nitrato (NO <sub>3</sub> -N) (mg/L)	pH	T° ICA (°C)	Solidos totales (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Turbidez (NTU)
Pozo 1	2.71	85.59	30.5	9.13	6.67	2.56	0.79	3.63	0.44
Pozo 2	3.19	73.92	30.5	8.38	6.97	3.31	0.94	5	0.49
Pozo 3	2.88	69.62	21.5	9.63	6.99	4.625	1.03	4.68	0.47
Promedio general	2.93	76.38	27.5	9.04	6.88	3.50	0.92	4.44	0.47

Cuadro 36. Hoja de cálculo para el índice NSF. determinando en ICATest v.1.0 para el agua del pozo 3 de la CC.NN. Pueblo Nuevo – Ucayali.

PARÁMETRO	RESULTADOS	VALOR-Q	FACTOR DE PONDERACIÓN	TOTAL
DBO	2.93 (mg/L)	5	0.11	0.55
Oxigeno Disuelto	76.38 (% Sat)	50	0.17	8.5
Coliformes Fecales	27.5 (col/100 mL)	34	0.16	5.44
Nitratos	9.04 (mg/L)	1	0.1	0.1
pH	6.8 (Unid)	0	0.11	0
Cambio de temperatura	3.5 (°C)	81	0.1	8.1
Sólidos totales	0.92 (mg/L)	84.08	0.07	5.89
Fosfatos totales	4.44 (mg/L)	2	0.1	0.2
Turbidez	0.47 (NTU)	40.8	0.08	3.26

Cuadro 37. Resultado del cálculo del índice de calidad del agua de los pozos (ICA). determinado en ICATest v. 1.0. que abastecen a la CC.NN.Pueblo Nuevo – Ucayali.

<b>RESULTADOS DE ICATest</b>	
<b>Índice de calidad del agua</b>	
Número de parámetros	9
Valor del índice	32.04
Clasificación	Mala
Rango	26 - 50
Escala de Color	Naranja

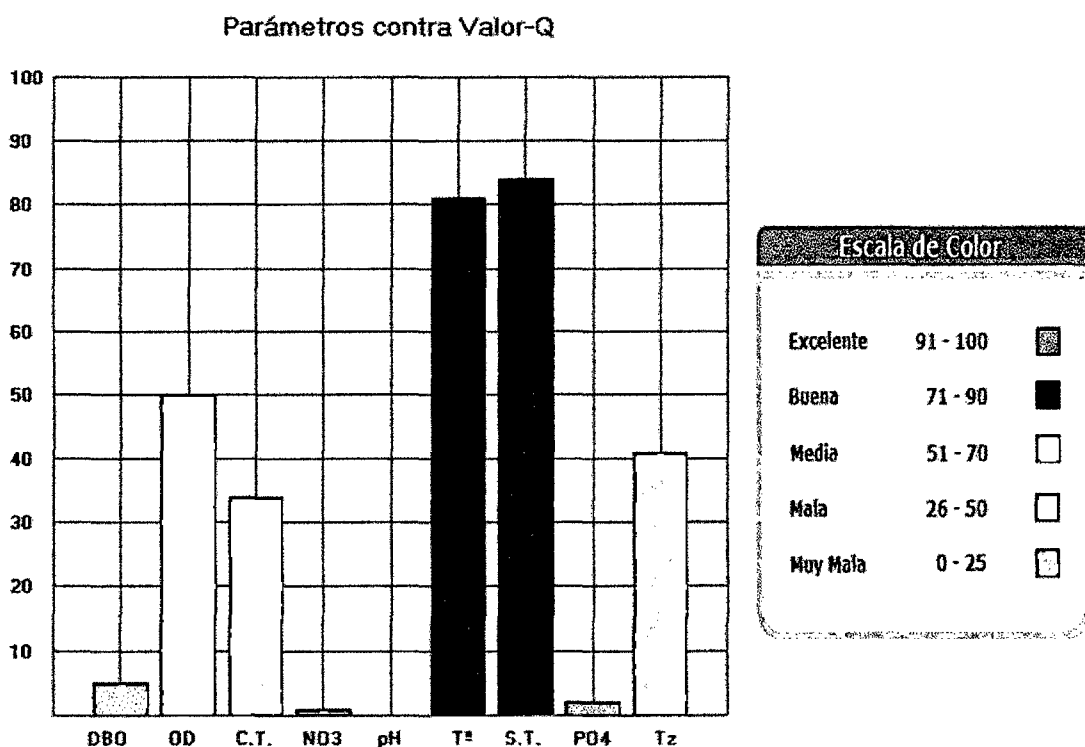


Figura 14. Promedio total de parámetros medidos en el agua de los pozos de CC.NN. Pueblo Nuevo – Ucayali. para calcular el ICA total.

## V. DISCUSIÓN

Los parámetros medidos en cada uno de los pozos de agua muestreados, tanto en el turno de la mañana como en la tarde, han determinado que para el caso de coliformes fecales, los tres pozos se encuentran fuera de los límites permisibles (0 NMP/100mL) considerando que el agua en ellos podría ser potabilizada con desinfección (D.S.002-2008. EL PERUANO. 2008). Esto se debe a que el agua subterránea tiene sustancias provenientes de la naturaleza y de las actividades humanas entre las cuáles se encuentran bacterias propias de las excretas de animales, lo que nos indica que la superficie del terreno se encuentra contaminado en este caso por coliformes fecales (MAMANI. 2012). En este caso, respecto a coliformes fecales, el agua de los pozos no sería apta para el consumo directo por los humanos pues afectaría seriamente su salud.

Los registros de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) para los tres pozos muestreados, en el rango de 2.8 a 3.05 mg/L, se encuentran dentro de los límites establecidos considerados para aguas superficiales potabilizadas con desinfección (D.S.002-2008. EL PERUANO. 2008), es decir alrededor de 3 mg/L. Sin embargo MAMANI (2012) en su propuesta de estándares de calidad de agua subterránea, manifiesta que el  $DBO_5$  de ésta no

debe superar 1 mg/L. siendo un contenido superior sinónimo de contaminación por infiltración freática. Es posible que la explicación de una  $DBO_5$  ligeramente fuera de los cánones permisibles. se deba a la presencia de un número moderado de coliformes fecales. que por infiltración llegan desde la superficie a los pozos. tal como lo afirma PREQB (2004).

En el caso de las determinaciones de oxígeno disuelto (OD) en el agua de los tres pozos muestreados se encuentran por encima de los valores recomendados por la ICA. no menor de 54.33% de saturación (DAVIS Y CORNWELL. 1998; SEMAREAN. 2001), aunque se reporta porcentajes de saturación de oxígeno de hasta 75 % en agua de pozo en la costa del Peru (MAMANI. 2012). Concordando con lo mencionado por PREQB (2004). esta condición puede entenderse debido a que el agua se encuentra a temperatura más o menos moderada. considerando que el OD disminuye al aumentar la temperatura. La disminución de OD ocasiona en muchas ocasiones la percepción de olores y sabores desagradables en el agua. tal como lo mencionan los usuarios de los pozos en la comunidad nativa.

Los resultados de las mediciones de nitratos ( $NO_3-N$ ) están debajo o en el límite permisible (10 mg/L) en los tres pozos. demostrando que el agua subterránea no ha recibido adiciones por fuentes externas como actividades agrícolas o ganaderas dentro de la comunidad nativa. coincidiendo con MAMANI (2012) y PREQB (2004) en que los nitratos a niveles bajos no son peligrosos generalmente para niños menores. sin la probabilidad de presentar



la metahemoglobinemia. y además que la concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja por el intercambio de iones ahí realizado. pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares.

Estudios del INRENA y otros. referidos por MAMANI (2012). respecto al pH encontradas en la caracterización de aguas subterráneas. reportaron en promedio general un pH entre 6.7 y 8.1. siendo el mínimo de 6.42 en el Valle San Juan. Chíncha y el máximo de 8.56 en el mismo valle. mientras que los demás no se exceden de 8.25. En el estudio de pozo de Vista Florida-Chiclayo. el pH máximo encontrado fue de 7.6. Todos estos se encuentran dentro de la propuesta de la sub categoría A-1 que es de 6.5 a 8.5. estipulados por el D.S. N° 002-2008-MINAM (EL PERUANO. 2008). por el Reglamento de Calidad del Agua para consumo humano D.S. N° 031-2011-SA (EL PERUANO. 2011).

En este sentido y considerando los resultados de la medición del pH en los pozos del presente estudio. cuyo promedio general ha sido de 6.89 en la mañana y 6.86 por la tarde. se determinaron valores que se encuentran dentro de los estándares calidad del agua establecidos. Esto nos indicaría que el agua carece o tiene muy poca concentración de sustancias minerales que la acidifiquen o alcalinicen ya sea provenientes de la superficie o infiltrado directamente del acuífero.

Los valores de temperatura del agua. entre 22.42 °C (turno mañana) a 23.25 °C (turno tarde). se han mantenido a pesar que la temperatura externa se situó entre 25.75 y 26.96 °C. para los turnos de mañana y tarde respectivamente. lo que nos indica que la profundidad del pozo facilita la aireación del mismo y su refrigeración. manteniendo incluso niveles de OD aceptables en porcentaje de saturación.

En lo que se refiere a sólidos disueltos totales los resultados promedios obtenidos de 906 mg/L SDT para el turno de mañana y de 937 mg/L SDT para el turno de tarde. se encuentran elevados en comparación a los reportes realizados por el INRENA (MAMANI. 2012) en la caracterización de aguas subterráneas. que encontró en promedio general una fluctuación entre 212 y 677 mg/L siendo el mínimo de 180 mg/L en el Valle Ramis y el máximo de 937 mg/L en el Valle San Juan - Chincha. mientras que los demás no se exceden de 595 mg/L. y al realizar un promedio menos el valor máximo de Chincha se obtiene un promedio de 590 mg/L. como se ha establecido para la sub categoría A-1 el valor de 1000 mg/L como límite permisible. se afirma que estos resultados se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental del agua.

Para la categoría C (se ha establecido en 500 mg/L que es un rango muy cercano al máximo promedio de la mayoría de pozos estudiados. ya

que es sabido que las aguas subterráneas debido a su mismo proceso geológico tienen muy pocos sólidos suspendidos en la mayoría de los casos

Es necesario recordar que la cantidad total de sólidos disueltos en el agua está relacionada con la conductividad eléctrica mediante la fórmula  $SDT = C.E. (mmhos/cm) \times 700; mg/L$  para considerarse SDT. las sustancias deben ser lo suficientemente pequeñas como para pasar una criba o filtración del tamaño de dos micras. La medida SDT tiene como principal aplicación el estudio de la calidad del agua de los ríos, lagos y arroyos. Aunque el SDT no tiene la consideración de contaminante grave, es un indicador de las características del agua y de la presencia de contaminantes químicos, es decir, de la composición química y concentración en sales y otras del agua.

Considerando los resultados de fosfatos en agua de los pozos estos se encuentran con valores por encima de los estándares para aguas superficiales (D.S. N° 002-2008-MINAM. El Peruano. 2008). quizás debido a la presencia de organismos tipo algas o cianobacterias en el agua del pozo, y es posible sobre todo a la presencia de algún tipo de detergente doméstico a base de fosfato que podrían haber llegado al agua al momento de que los usuarios obtienen el agua por medio del recipiente recolector. Si consideramos la propuesta de los estándares de calidad del agua subterránea (MAMANI. 2012) dentro de la Categoría A: Aguas Subterráneas Destinadas a la Producción de Agua Potable y subcategoría A1: Aguas que puede ser Potabilizado con Desinfección (también en concordancia a lo fijado en la Ley 29338. Art 36 agua

para uso primario) y la subcategoría A2: Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Convencional o Avanzado. (Aplicable lo fijado en la Ley 29338. Art 39 agua para uso poblacional). los valores del parámetro fosfato o fósforo total para este uso. no es relevante. salvo casos específicos que a la autoridad competente lo determine.

La turbidez resultante de las determinaciones en el agua de los pozos con cifras entre 0.49 UNT a 0.44 UNT. muestran que el agua tiene un aspecto transparente por lo que es aceptada por los usuarios a pesar de que algunos parámetros aquí determinados se encuentran en los límites permisibles o fuera de estos. Estos resultantes concuerdan con lo mencionado por BARRENECHEA (2004) respecto a los estándares internos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) que establecen que las aguas de consumo humano deben tener preferentemente 1 UNT y en ningún caso más de 5 UNT. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda como valor guía 5 UNT.

Con referencia a la determinación del Índice de Calidad del Agua(ICA) según lo establecido por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU (NSF). lo resultados demuestran que el índice general de 31.9 está en el rango de 26 - 50 en la escala de color naranja con una clasificación de calidad de Mala. lo que nos indica que el agua no es aceptable para el consumo. caso contrario se tendrían ciertas consideraciones. como un previo tratamiento de cloración y ebullición. lo que no se practica en la comunidad nativa de Pueblo Nuevo del Caco.

Es por ello preocupante que la población de la comunidad nativa de Pueblo Nuevo del Caco se encuentra expuesta a serios problemas de salud debido a que consumen agua de mala calidad y sobre todo por la presencia de coliformes fecales en el agua. a pesar que la apariencia de la turbidez (valor promedio de 0.47) la mantiene con un aspecto transparente y engañosamente asequible para el consumo.

## VI. CONCLUSIONES

1. El agua de los tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco mantiene un número de coliformes fecales, porcentaje de saturación de OD y valores de fosfatos, que se encuentran fuera de los límites permisibles establecidos en el D.S. N° 002 – 2008 – MINAM.
2. Los parámetros DBO<sub>5</sub>, nitratos (NO<sub>3</sub>-N), pH, sólidos disueltos totales (SDT), turbidez (UNT) e incluso el cambio de temperatura, se han establecido dentro de los estándares establecidos.
3. El Índice de calidad del pozo 1 se ubica en la categoría de Muy Mala con un rango de 0 – 25 en la escala de color rojo con un índice de 25.57.
4. El Índice de calidad de los pozos 2 y 3 se ubica en la categoría de Mala con un rango de 26 – 50 en la escala de color naranja con un índice de 31.95.
5. De manera general el Índice de Calidad del Agua (ICA) según la NSF de los EE.UU. determinado es 31.9, ubicándose en el rango de 26 – 50 en la escala de color naranja, estableciéndose como Mala calidad.

6. La población de la comunidad nativa de Pueblo Nuevo del Caco se encuentra expuesta a serios problemas de salud debido a que consumen agua de mala calidad. sobre todo por la presencia de coliformes fecales en el agua.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Sugerir a los dirigentes de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco el tratamiento convencional del agua de los pozos. considerando bombeo. almacenamiento. sedimentación y cloración. paralelamente al proceso de ebullición.
2. Solicitar a las autoridades de salud realicen un despistaje de enfermedades contraídas a partir del agua. tal como gastroenteritis. salmonelosis. hepatitis A. parasitosis entre otras.
3. Establecer campañas de información ambiental con respecto al consumo del agua como herramienta para el cambio de actitud de los pobladores en el uso del agua.
4. Realizar evaluaciones periódicas de ICA – NSF en pozos de la esta y otras comunidades nativas con el fin de evitar presencia de incidencia de enfermedades provocadas por el agua-



## VIII. ABSTRACT

### WATER QUALITY INDEX THREE ARTESIAN WELLS THAT SUPPLY THE NATIVE COMMUNITY PUEBLO NUEVO, UCAYALI

The research was conducted in the native community of Pueblo Nuevo of Caco- Ucayali, processed water samples from three wells, which have not been maintained to establish the water quality index that caters to the community. Fecal coliforms (FC ), biochemical oxygen demand (BOD5 ), percentage of : the protocol for determining the Water Quality Index (WQI) of the National Sanitation Foundation (NSF) of the United States with nine assessment criteria was applied dissolved oxygen saturation (% Sat DO), pH, temperature change, phosphates, nitrates (NO<sub>3</sub>-N), amount of total dissolved solids (TDS) and nephelometric turbidity units (NTU).

Fecal coliforms (27.5 MPN/100 mL), the percentage saturation of OD (76.38 % sat) and the valuation of phosphate (4.44 mg/L) were outside the established permissible limits and even though the other criteria were within the standards referred to water direct use, the ICA -NSF calculated for wells established that the category of well water was in the range of 26 - 50 at the Orange color scale with a quality index of 31.95 established as Bad quality.

Well 1, showed the lowest values of quality with an index of 25.57 within a range of 0-25 on the scale of red color with a Very Bad category.

It is suggested that the native community of people who use water from these wells , perform a prior conventional water treatment practices among this boiling water

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA. AWWA. WEF. 1995. Métodos Normalizados para el Análisis de aguas potables y residuales. Madrid. Díaz de Santos. S.A.. 2-1 a 2-105. 3-1 a 3-186. 4-1 a 4-235. 9-1 a 9-179.

BALLESTERO. M. REYES. V. & ASTORGA. Y. 2007. Groundwater in Central America: its importance, development and use, with particular reference to its role in irrigated Agriculture (Documento digital). Consultado el 19 de septiembre de 2009. [En línea]: ([http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI\\_Publications/CA\\_CABI\\_Series/Ground\\_Water/protected/Giordano\\_1845931726-Chapter6.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI_Publications/CA_CABI_Series/Ground_Water/protected/Giordano_1845931726-Chapter6.pdf).. enero 2013)

BAPTISTA. C. 2002. II curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental: contaminación de agua y suelos [En línea]: (<http://www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/14contaminacion.pdf>.. Sao Paulo. UNESCO UNICAMP. Consultado 28 de mayo de 2009).

BROOKS. K. FFOLLIOTT P. GREGERSEN. H. & DEBANO. L. 2003. Hydrology and the Management of watersheds. 3. ed. Ames. Iowa. EE. UU. Iowa State University Press. 574 p.

BROWN. R.M.. MCCLELLAND. N.. DEININGER. R.A.. Y R.G.. TOZER. (1970).  
*A Water Quality Index - Do We Dare*. Proceedings of the National Symposium on Data and Instrumentation for Water Quality Management. Conference of State Sanitary Engineers and Wisconsin University. July 21-23. 1970. Madison. WIS. p. 364-383. 1970.

CANTER. L.W.. (1996). Environmental Impact Assessment. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. ISBN 0-07-009767-4. p.122–133.

DAVIS. M.L.. Y D.A. CORNWELL. (1998). Introduction to Environmental Engineering. McGraw Hill. Series in Water Resources and Environmental Engineering. ISBN 0-07-015918-1. P. 224

EPA (Environmental protection agency). 2007. Acid rain: what is pH Consultado el 15 de octubre de 2009. [En línea]: (<http://www.epa.gov/acidrain/measure/ph.html>)

HACH COMPANY. 2000. DR/820. DR850. and DR/890: Portable Datalogging Colorimeter Instrument Manual. Loveland. Colorado. USA. 607 p.

JOHNSON DIVISION UOP. (1975). Inc. "El agua subterránea y los pozos" Saint Paul. Minnesota.

LOSILLA. M. et al. 2001. Los acuíferos Volcánicos y el Desarrollo Sostenible en América Central. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José. C. R. 205 p.

MAMANI V..E. 2012. Informe principal: Propuesta de estándares nacionales de calidad ambiental para agua subterránea. Dirección General de Calidad Ambiental. Vice Ministerio de Gestión Ambiental. Ministerio del Ambiente del Perú.

MITCHELL. M.. STAPP. W. 2000. Field Manual for Water Quality Monitoring. 12 th Edition.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE (NAS) 1975. Planning for Environmental Indices. A Report of the Planning Committee of Environmental indices. National Academy of Science. Washington. USA.

NEWMAN J. 1994. Surface water quality monitoring. classification. biological assessment and standards. Water Science and Technology. 30(10):1-10.

OPS (Organización mundial de la salud). 1988. Agua y salud humana. México D. F. México. Limusa. 231 p.

OMS (Organización mundial de la salud). 2007. Chemical safety of drinking-

water: assessing priorities for risk management (online). Consultado el 15 de septiembre de 2009. [En línea]: ([http://whqlibdoc.who.int/publications/2007/9789241546768\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2007/9789241546768_eng.pdf)).

OTT. W.R.. (1978). Environmental Indices Theory and Practice. Ann Arbor Science. Michigan. ISBN 0-250-40191-6

PREQB. 2004. Puerto Rico Environmental Quality Board. Puerto Rico Water Quality Inventory and List of Impaired Waters. 2004: 305(b)/303(d) Final Report.

REFAI. M. K. 1981. Manual para el control de calidad de los alimentos. Parte 4: Análisis Microbiológicos. Estudio FAO. Alimentación y Nutrición. N° 14/4. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y alimentación. Roma.

SEMARENA (Secretaría de estado de medioambiente y recursos naturales). 2001. Normas de calidad de agua y control de descargas. Consultado el 29 de septiembre de 2009. [En línea]: (<http://rsta.pucmm.edu.do/biblioteca/bvds/pdfs/Normas%20Ambientales.pdf>)

**ANEXO**

**Anexo A. Propuestas de Estándares de Calidad Ambiental para Agua Subterránea Parámetro (MAMANI. 2012).**

Parametro	Unidad	Tipos de Aguas Subterráneas			
		Categoría A		Categoría B	Categoría C
		A-1	A-2		
<b>Aspectos Físico Químicos</b>					
Cloruros	mg/L	350	500	700	**
Conductividad	µS/cm	1600	2000	**	**
Dureza	mg/L	600	**	**	**
pH	pH	6.5 – 8.5	5.5 – 9.0	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Calcio	mg/L	150	200	200	**
Magnesio	mg/L	125	170	**	**
Sodio	mg/L	300	450	200	300
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500	500
Sulfatos	mg/L	300	350	400	**
<b>Nutrientes</b>					
Nitratos	mg/L-N	10*	10*	**	**
Nitritos	mg/L-N	1*	1*	**	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L- N	1.5	2	**	**
Fosforo Total	mg/L	**	**	**	0.4
Nitrógeno Total	mg/L	**	**	**	1.6
<b>Metaloides y Metales Pesados</b>					
Arsénico	mg/L	0.01	0.01	0.05	0.05
Boro	mg/L	0.05	0.3	0.3	0.3
Cadmio	mg/L	0.003	0.003	0.005	0.004
Cobre	mg/L	1	2	2	1
Mercurio	mg/L	0.001	0.002	0.001	0.002
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.001
Zinc	mg/L	3	3	15	1
<b>Plaguicidas</b>					
Aldrin + Dieldrin	µg/L	0.001	0.03	0.03	0.001
Clordano	µg/L	0.01	0.2	0.2	0.01
DDT	µg/L	0.0001	0.001	0.001	0.0001
Lindano	µg/L	1	2	2	1
<b>Parámetros Microbiológicos</b>					
Coliformes Termotolerantes a 44.5 °C	NMP/10 0 ml	0	2000	2000	**
Coliformes Totales (35 – 37 °C)	NMP/10 0 ml	3	3000	5000	**
Escherichia coli	NMP/10 0 ml	0	0	50	**



**Anexo B. Resumen estadístico de la evaluación del índice de calidad del agua de tres pozos de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco. Ucayali.**

	<i>pH</i>	<i>T° amb</i>	<i>T° agua</i>	<i>NMP-CF</i>	<i>%Sat.OD</i>	<i>DBO<sub>5</sub></i>	<i>NO<sub>3</sub>-N</i>	<i>FOSFO</i>
<b>Recuento</b>	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>Promedio</b>	6.89	25.75	22.42	26.0	6.20	2.80	40.98	3.92
<b>Desviación Estándar</b>	0.52	1.21	0.51	11.33	1.12	0.64	4.67	1.62
<b>Coficiente de Variación</b>	7.52%	4.72%	2.29%	43.58%	18.06%	22.86%	11.41%	41.39%
<b>Mínimo</b>	6.05	24.0	22.0	7.0	4.07	1.74	31.01	1.0
<b>Máximo</b>	7.65	28.0	23.0	43.0	7.89	3.92	44.3	7.0
<b>Rango</b>	1.6	4.0	1.0	36.0	3.82	2.18	13.29	6.0
<b>Sesgo Estandarizado</b>	-0.17	0.29	0.55	0.68	-0.32	0.0089	-1.62	0.0085
<b>Curtosis Estandarizada</b>	-0.843488	-0.29	-1.60	-0.17	-0.17	-0.45	0.089	0.11

	<i>UNT</i>	<i>SDT</i>
<b>Recuento</b>	12	12
<b>Promedio</b>	0.4925	906.0
<b>Desviación Estándar</b>	0.147224	260.835
<b>Coficiente de Variación</b>	29.8933%	28.7898%
<b>Mínimo</b>	0.33	245.0
<b>Máximo</b>	0.84	1365.0
<b>Rango</b>	0.51	1120.0
<b>Sesgo Estandarizado</b>	1.72958	-1.68108
<b>Curtosis Estandarizada</b>	1.15283	2.86578

Este cuadro muestra el resumen estadístico para cada una de las variables seleccionadas. Incluye medidas de tendencia central, de variabilidad, y de forma. Se incluye el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden usarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad. ninguna de las variables muestran valores de sesgo estandarizado y de curtosis estandarizada fuera del rango esperado. Los SDT muestran curtosis estandarizada fuera del rango esperado.

### Cuadro del Analisis Multivariado. determinación de Correlaciones de Pearson con coeficientes de los Valores P

	DBO	FOSFO	NO3-N	NMP CF	UNT	% SatOD	PH	SDT	T° AGUA	T° AMB
<b>DBO</b>		0.4648	-0.4019	0.0616	-0.1364	-0.2697	-0.4525	0.0863	0.2874	0.1961
<i>n</i>		(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)
<b>Valor P</b>		0.1279	0.1953	0.8492	0.6725	0.3966	0.1397	0.7897	0.3651	0.5414
<b>FOSFO</b>	0.4648		-0.0398	-0.2029	0.0885	-0.5156	-0.2402	0.6103	0.3720	0.4959
<i>n</i>	(12)		(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)
<b>Valor P</b>	0.1279		0.9021	0.5271	0.7844	0.0862	0.4521	<b>0.0351</b>	0.2337	0.1011
<b>NO3-N</b>	-0.4019	-0.0398		-0.5551	0.0307	-0.0745	0.5115	0.2299	-0.0418	0.3367
<i>n</i>	(12)	(12)		(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)
<b>Valor P</b>	0.1953	0.9021		0.0610	0.9245	0.8180	0.0892	0.4723	0.8973	0.2846
<b>NMP CF</b>	0.0616	-0.2029	-0.5551		-0.4584	0.3460	-0.4831	-0.4457	-0.3584	-0.4423
<i>n</i>	(12)	(12)	(12)		(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)
<b>Valor P</b>	0.8492	0.5271	0.0610		0.1340	0.2706	0.1116	0.1465	0.2526	0.1499
<b>UNT</b>	-0.1364	0.0885	0.0307	-0.4584		-0.5214	0.4096	-0.1123	-0.0030	0.4915
<i>n</i>	(12)	(12)	(12)	(12)		(12)	(12)	(12)	(12)	(12)
<b>Valor P</b>	0.6725	0.7844	0.9245	0.1340		0.0822	0.1861	0.7283	0.9926	0.1046
<b>%Sat OD</b>	-0.2697	-0.5156	-0.0745	0.3460	-0.5214		0.0722	-0.2869	-0.0367	-0.5602
<i>n</i>	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)		(12)	(12)	(12)	(12)
<b>Valor P</b>	0.3966	0.0862	0.8180	0.2706	0.0822		0.8236	0.3659	0.9098	0.0582
<b>pH</b>	-0.4525	-0.2402	0.5115	-0.4831	0.4096	0.0722		0.1898	0.1642	0.4138
<i>n</i>	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)		(12)	(12)	(12)
<b>Valor P</b>	0.1397	0.4521	0.0892	0.1116	0.1861	0.8236		0.5546	0.6101	0.1812
<b>SDT</b>	0.0863	0.6103	0.2299	-0.4457	-0.1123	-0.2869	0.1898		0.4968	0.3699
<i>n</i>	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)		(12)	(12)
<b>Valor P</b>	0.7897	<b>0.0351</b>	0.4723	0.1465	0.7283	0.3659	0.5546		0.1004	0.2366
<b>T° AGUA</b>	0.2874	0.3720	-0.0418	-0.3584	-0.0030	-0.0367	0.1642	0.4968		-0.1089
<i>n</i>	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)		(12)
<b>Valor P</b>	0.3651	0.2337	0.8973	0.2526	0.9926	0.9098	0.6101	0.1004		0.7361
<b>T° AMB</b>	0.1961	0.4959	0.3367	-0.4423	0.4915	-0.5602	0.4138	0.3699	-0.1089	
<i>n</i>	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	(12)	
<b>Valor P</b>	0.5414	0.1011	0.2846	0.1499	0.1046	0.0582	0.1812	0.2366	0.7361	

El valor-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero. con un nivel de confianza del 95.0%. FOSFO y SDT tienen valores-P por debajo de 0.05.

## Anexo C. Galería fotográfica



Foto 1. Tomando muestra del Pozo 1 en turno de tarde

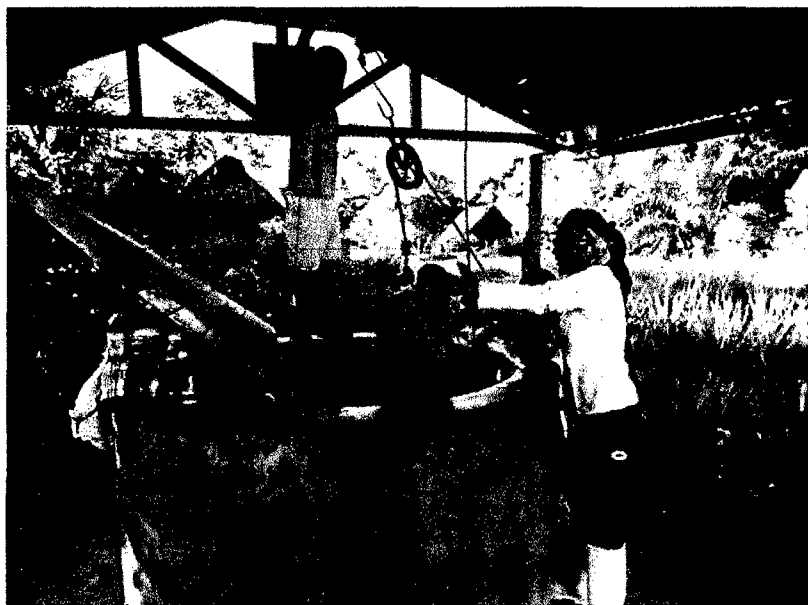


Foto 2. Tomando muestra del Pozo 2 en turno de mañana



Foto 3. Tomando temperatura externa alrededor del pozo 2



Foto 4. Tomando muestra (repetición) del pozo 2 en turno mañana



Foto 5. Tomando pH de agua del pozo 2 turno mañana



Foto 6. Tomando temperatura externa alrededor del pozo 3



Foto 7. Muestra conservadas en frio llegadas al laboratorio



Foto 8. Procediendo a la medición de Nitrato en las muestras de agua

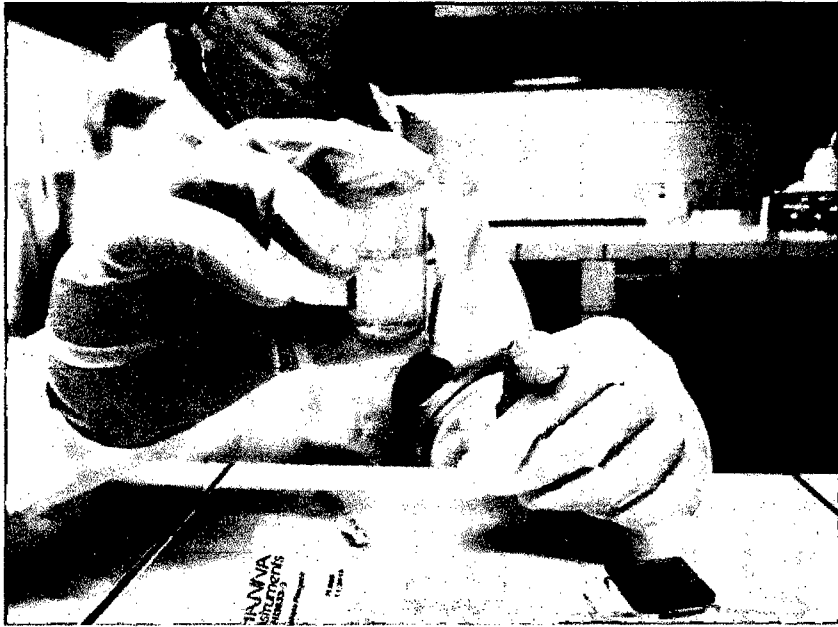


Foto 9. Medición de Fosfatos en las muestra de agua



Foto 10. Anotando resultados de la determinación de Fosfatos

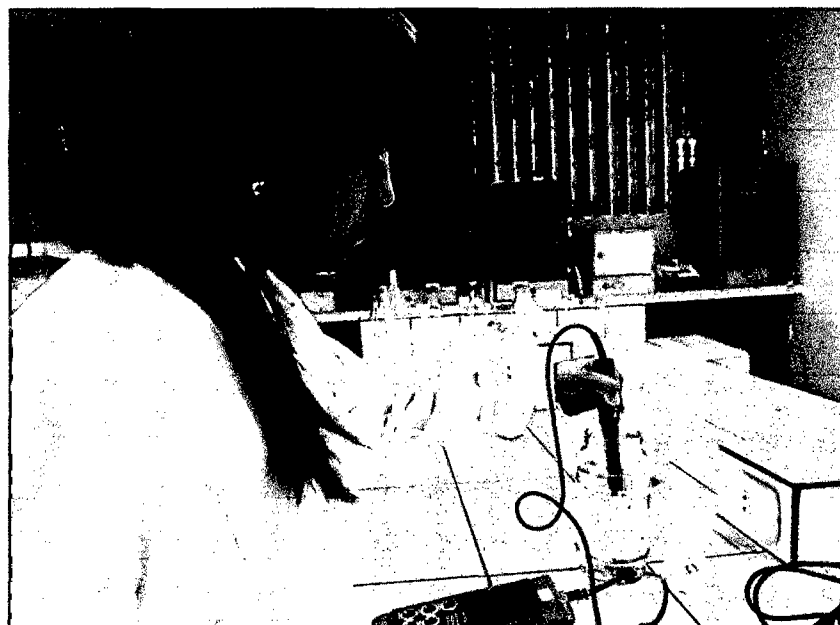


Foto 11. Determinando saturación de O.D. con el oxímetro

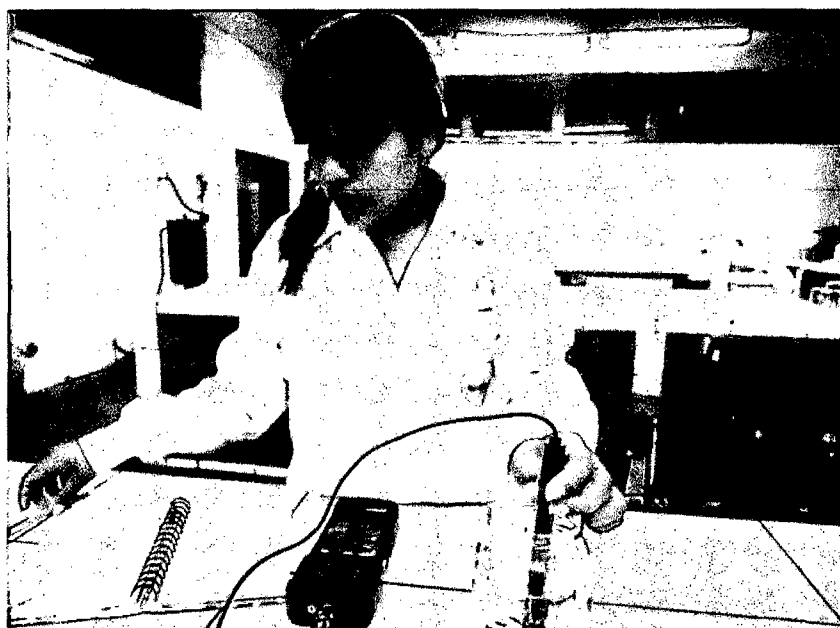


Foto 12. Determinación del pH con el pHmetro





Foto 13. Muestras de agua para determinar la  $DBO_5$



Foto 14. Determinando la  $DBO_5$  en las muestras de agua



Foto 15. Midiendo Oxígeno para la  $DBO_5$



Foto 16. Papel de filtro con muestras de SDT

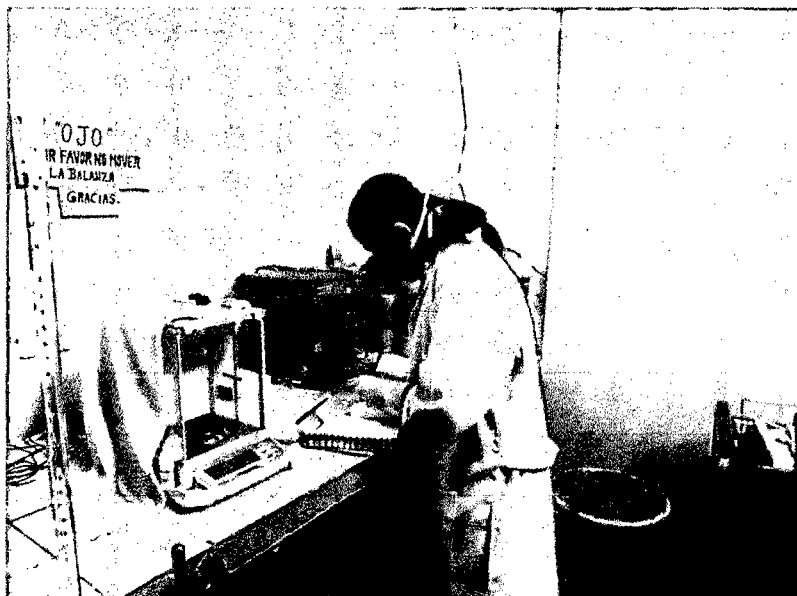


Foto 17. Pesando los SDT en los papel filtro secados



Foto 18. Muestras para determinar coliformes fecales

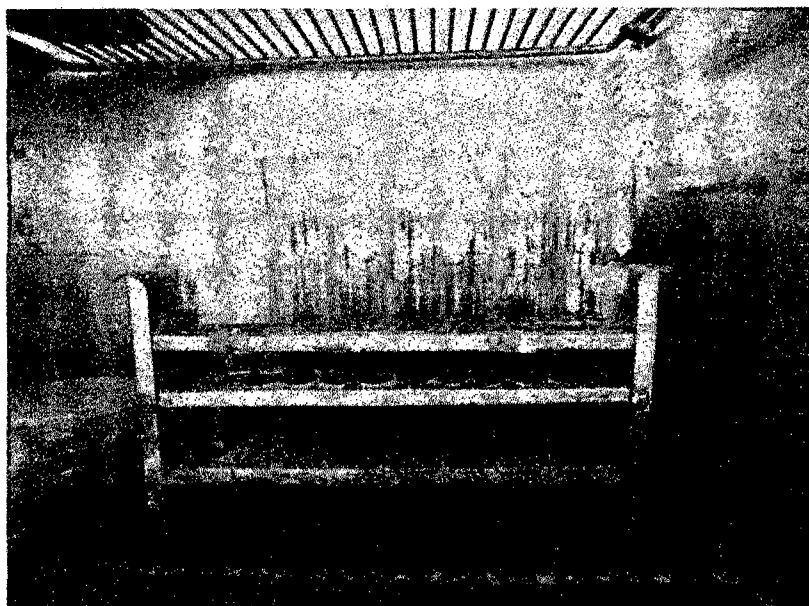


Foto 19. Cultivo para determinar coliformes fecales

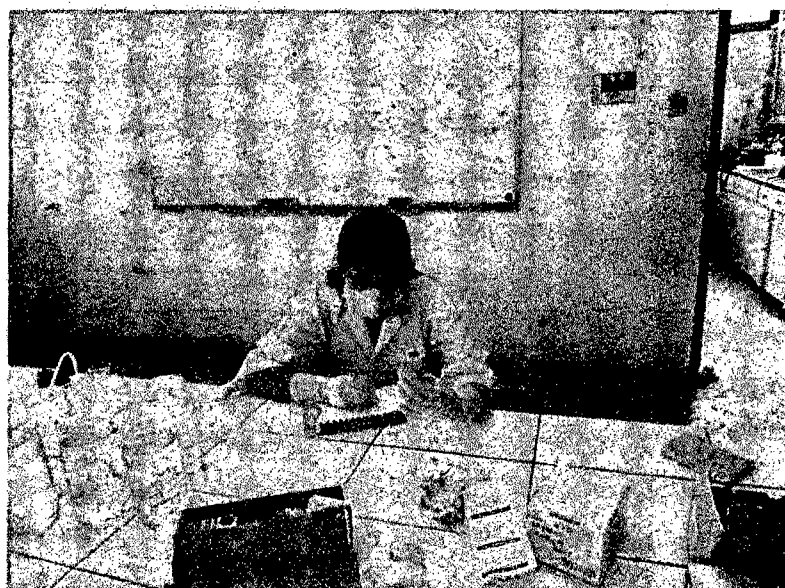


Foto 20. Determinando Nitratos en muestra de agua

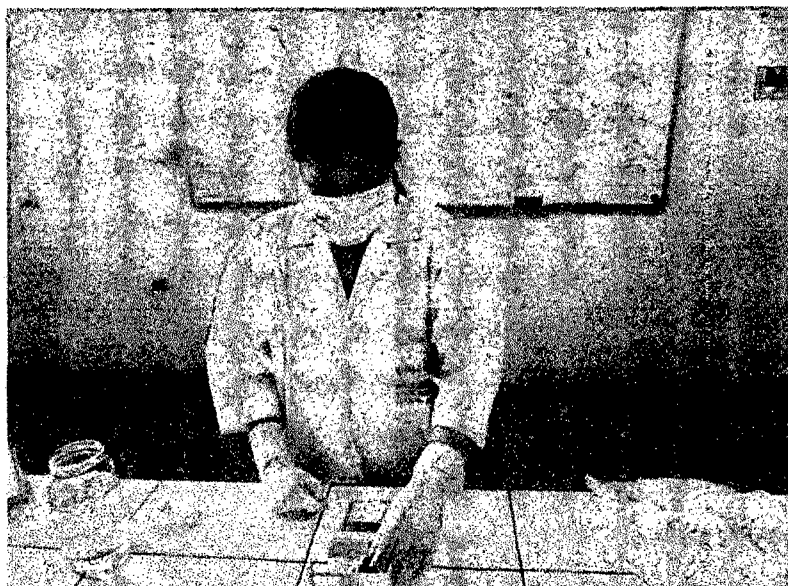


Foto 21. Determinación de las UTN en turbidímetro

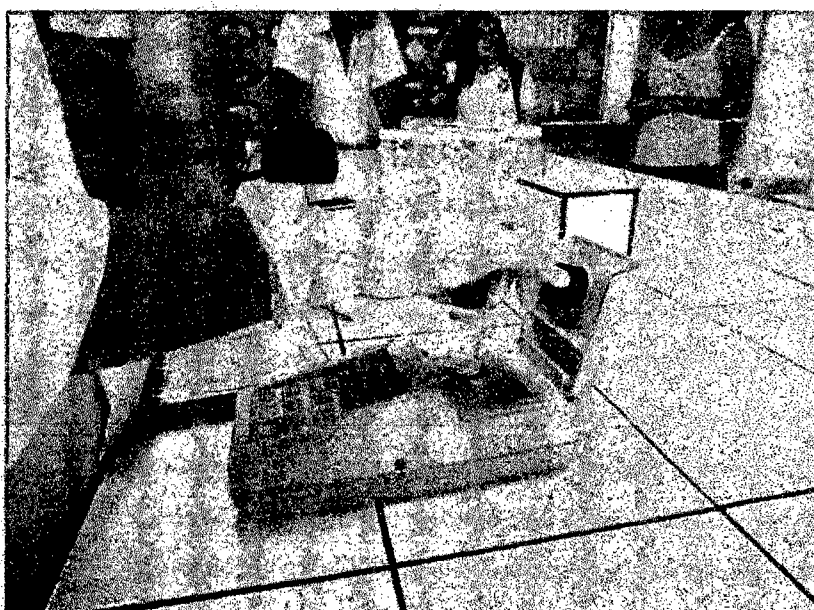


Foto 22. Utilizando el turbidímetro para determinar UNT

### Anexo D. Mapa de ubicación de la comunidad nativa Pueblo Nuevo del Caco – Ucayali.

