Programa de Monitoreo de Calidad de Agua
Cuerpos de Agua Superficiales y Subterráneas
Cuenca de Río Indio

Objetivo 2. Tarea 9b. Diseño de Programa de Calidad de Agua en la Cuenca. Año 2

Julio, 2018

MiAMBIENTE

CANAL DE PANAMÁ

Contrato de consultoría No. 023 (2016)

"Estudios para la elaboración del diseño conceptual del reservorio multipropósito en la Cuenca de Río Indio y proyectos complementarios para el manejo de la cuenca"

Celebrado entre el Ministerio de Ambiente y la Autoridad del Canal de Panamá

Objetivo 2. Tarea 9b Diseño de programa de monitoreo de calidad de agua en la cuenca
Año 2

Elaborado por:

Oficina de Capacidad Hídrica
Autoridad del Canal de Panamá

Contenido

I. Abreviaturas y Acrónimos 2

II. Resumen Ejecutivo 4

III. Introducción 5

IV. Objetivos 6

V. Generalidades de la Cuenca Hidrográfica de Río Indio 7

VI. Criterios de Selección de Estaciones de Monitoreo 10

6.1 Cuerpos de Agua Superficiales (ríos) 10

6.2 Aguas Subterráneas (piezómetros) 11

VII. Metodología 12

7.1 Cuerpos de Aguas Superficiales (ríos) 12

7.2 Aguas Subterráneas 13

VIII. Estrategia de Implementación del Programa de Monitoreo 18

8.1 Etapa I (octubre 2018 – octubre 2019) 18

8.2 Etapa II (octubre 2019 – enero 2020) 18

8.3 Etapa III 18

IX. Estaciones de Monitoreo de Calidad de Agua 19

X. Análisis de Resultados del Programa 21

XI. Referencias Bibliográficas 23

XII. Conclusiones y Recomendaciones 24

XIII. Anexos 25

13.1 Anexo Documental 25

13.1.1 Contenido mínimo de la cadena de custodia para muestreo de aguas superficiales . 25

13.1.2 Contenido mínimo de la cadena de custodia para muestreo de aguas subterráneas 27

13.2 Mapas 29

I. Abreviaturas y Acrónimos

Alc. Total	Alcalinidad total
As	Arsénico
Ca	Calcio
Cd	Cadmio
CHRI	Cuenca Hidrográfica de Río Indio
Cl	Cloruros
Cond	Conductividad
C. Total	Coliformes totales
C. Fecales	Coliformes fecales
Cr	Cromo Total
DBO_5	Demanda Bioquímica de Oxígeno (determinado en 5 días de incubación)
E. *coli*	Escherichia coli
ICA	Índice de Calidad de Agua
K	Potasio
L	Litro
m	Metro
mg	Miligramo
Mg	Magnesio
mg/L	Miligramo por litro
µg/L	Microgramo por litro
Na	Sodio
$N\text{-}NO_3$	Nitrógeno como nitrato
$N\text{-}NO_2$	Nitrógeno como nitrito
NMP	Número más probable
NTU	Nephelometric Turbidity Units por sus siglas en inglés, que significan unidades nefelométrica de turbiedad
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de hidrógeno
$P\text{-}PO_4$	Fósforo como fosfato
PNSH	Plan Nacional de Seguridad Hídrica
REJ	Río El Jobo
RI	Río Indio
RLE	Río La Encantada
RU	Río Uracillo
RT	Río Teriá
S (ppt)	Salinidad (partes por mil)
SM	Sandard Methods for the Examination of Water and Wastewater, por sus siglas en inglés que significa Métodos estándar para el análisis de agua y agua residual
SO_4	Sulfato
T	Temperatura
STD	Sólidos Totales Disueltos

STS	Sólidos Totales Suspendidos
Turb	Turbiedad
USEPA	United States Environmental Protection Agency por sus siglas en inglés, que significa Agencia de Protección Ambiental de los EEUU
WRDB	Water Resources Database por sus siglas en inglés que significa Base de Datos de Recurso Hídrico
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials por sus siglas en inglés que significa Asociación Americana de Carreteras y Transporte Estatales.
<	Menor que
>	Mayor que

II. Resumen Ejecutivo

Panamá aprobó en 2016 el primer Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050 “Agua para Todos” (PNSH) y creó el Consejo Nacional del Agua (CONAGUA), para dar seguimiento a la implementación del PNSH y contar con una estructura de apoyo y coordinación para el cumplimiento de las metas del Plan.

Como parte de este plan, MiAMBIENTE firmó tres contratos con la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), para el desarrollo de estudios y análisis de pre factibilidad y factibilidad, de nuevos reservorios multipropósito, en los ríos: Indio, Santa María, La Villa, Perales, y Parita.

*Que mediante **Ley No. 8 de 25 de marzo de 2015**, se crea el **MiAMBIENTE** como la entidad rectora del Estado en materia de protección, conservación, preservación y restauración del ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales.*

Como parte del Contrato 023(2016) que corresponde a la cuenca hidrográfica de río Indio (cuenca No. 111), MiAMBIENTE contempló el diseño de un programa de monitoreo de la calidad de agua, el cual permitirá conocer el comportamiento o tendencia de las condiciones del recurso hídrico en la cuenca de río Indio en cuanto a la calidad, establecer indicadores de calidad ambiental y con esto, determinar factores o fuentes que estén o puedan impactar el recurso hídrico, y consecuentemente, ser la base para toma de decisiones de manejo. Para tal fin, el Programa aquí presentado, contempla el monitoreo de la calidad de las aguas del río principal (río Indio) y los 4 ríos secundarios o subcuencas (El Jobo, La Encantada, Teriá y Uracillo), así como el monitoreo de aguas subterráneas a través de tres piezómetros establecidos durante el levantamiento de la línea base ambiental.

De allí, que los datos que se generen permitan establecer un indicador ambiental o ICA y la generación de Informes Anuales, que se integre a los datos que se recolectan a nivel de las cuencas hidrográficas del país.

III. Introducción

Resultado de un trabajo interinstitucional y luego de una amplia consulta pública, Panamá aprobó a través de la Resolución de Gabinete N° 114 del 23 de agosto de 2016 (Gaceta Oficial Digital N° 28104-A) el Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH) 2015-2050 "Agua para Todos", cuyo objetivo es garantizar el acceso justo y equitativo del agua a toda la población y sectores productivos, en cantidad suficiente y calidad aceptable, asegurando la disponibilidad y protección de los recursos hídricos y los ecosistemas en un clima cambiante. A su vez, este instrumento legal crea el Consejo Nacional del Agua (CONAGUA), para dar seguimiento a la implementación del PNSH y contar con una estructura de apoyo y coordinación para el cumplimiento de las metas del Plan.

La meta 2 del PNSH cuyo contexto es Agua para el desarrollo económico inclusivo, motivó que el CONAGUA aprobara en su Plan de Trabajo 2016-2018, acciones a corto plazo, como es la realización de estudios de pre-inversión de nuevos reservorios multipropósito, en los ríos: Indio, Santa María, La Villa, Perales, y Parita. Para tal fin, MiAMBIENTE firmó tres contratos con la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), el 15 de diciembre de 2016, fundamentándose esta decisión, en la experiencia de la ACP, en materia de gestión de cuencas, manejo de sistema de lagos, desarrollo de estudios y análisis de pre factibilidad y factibilidad, así como ejecución de proyectos de gran envergadura.

Uno de los contratos de consultoría antes descritos, es el No. 023(2016) que corresponde a los "Estudios para la elaboración del diseño conceptual del reservorio multipropósito en la cuenca de río indio y proyectos complementarios para el manejo de la cuenca", mediante el cual se llevan a cabo los estudios técnicos, ambientales, sociales y económicos para el diseño conceptual de un reservorio multipropósito y se ejecutarán proyectos para el mejoramiento de las condiciones socioeconómicas y la gestión integral de la Cuenca de río Indio.

Entre los estudios desarrollados a la fecha (2017-2018) está el de línea base ambiental, el cual permitió conocer la condición ambiental de la cuenca de río Indio, siendo esta información medular para el diseño de los programas de monitoreo y seguimiento de componentes ambientales que son de importancia en el marco del Contrato 023 (2016).

En este documento, se presenta el diseño de un programa de monitoreo de la calidad de cuerpos de agua superficial y subterránea, el cual permitirá conocer el comportamiento o tendencia de las condiciones del recurso hídrico en la cuenca de río Indio en cuanto a la calidad, establecer indicadores de calidad ambiental y con esto, determinar factores o fuentes que estén o puedan impactar el recurso agua, y consecuentemente, ser la base para toma de decisiones de manejo.

Este programa contribuye a las acciones que actualmente desarrolla MiAMBIENTE a nivel de las diferentes cuencas hidrográficas del país, como parte de la responsabilidad que la ley le otorga de "fomentar el uso sustentable de las aguas subterráneas y superficiales en los diversos sectores usuarios del recurso, para satisfacer las diversas necesidades en condiciones cambiantes del mismo", "impulsar la investigación científica y tecnológica, que contribuyan a la toma de decisiones a nivel de cuencas hidrográficas para la gestión integrada de los recursos hídricos, impulsando la seguridad hídrica", entre otras; considerando las funciones que han sido actualizadas según Decreto Ejecutivo No. 36 de 28 de mayo de 2018.

IV. Objetivos

- Diseñar un programa de monitoreo de calidad de agua, a través de estaciones de monitoreo de calidad de aguas naturales superficiales y subterráneas.

- Definir parámetros físico-químicos y bacteriológicos que permitan caracterizar las aguas superficiales de la cuenca hidrográfica de río Indio, considerando el río principal y sus afluentes.

- Definir parámetros físico-químicos y bacteriológicos que permitan caracterizar la calidad del agua subterránea en la cuenca hidrográfica de río Indio.

- Generar información que permita determinar indicadores de calidad ambiental que constituyan una herramienta de alerta temprana, prevención y conservación del recurso agua y que contribuyan a la toma de decisiones en materia de manejo de la cuenca hidrográfica.

- Generar información que permita identificar posibles fuentes de contaminación y mostrar tendencias sobre niveles de contaminación de aguas naturales superficiales y subterráneas.

V. Generalidades de la Cuenca Hidrográfica de Río Indio

El programa de monitoreo de calidad de agua se enmarca en la cuenca hidrográfica de río Indio (cuenca No. 111), la cual presenta una forma alargada con una extensión territorial de 579.8 km2. Limita al norte con el mar Caribe, al este con la Cuenca del Canal y la cuenca de los ríos entre el Indio y el Chagres, al oeste con las cuencas de los ríos U y Miguel de La Borda, y al sur con las cuencas del río Antón y ríos entre el Antón y el Caimito. Ver **Mapa 1** con la localización regional.

La demarcación de esta cuenca se basó en los ríos secundarios que drenan al río principal (río Indio), en los tramos alto, medio y bajo de la cuenca. Estos ríos secundarios son: La Encantada, El Jobo, Uracillo y Teriá.

El río Indio siendo el cauce principal, irriga toda la cuenca hasta la desembocadura, teniendo una extensión de 92 Km con un recorrido central en esta cuenca. En la **Tabla 1** se presentan las subcuencas con sus respectivas áreas y longitudes de drenaje.

Tabla 1
Subcuencas que conforman la cuenca de río Indio

Subcuenca	Río Secundario	Área (Km^2)	Longitud de drenaje (Km)
La Encantada	La Encantada	62.57	34.65
El Jobo	El Jobo	38.14	19.44
Uracillo	Uracillo	108.52	32.46
Teriá	Teriá	97.3	32.42

Fuente: Informe de Línea Base Ambiental - URS Holdings, Inc. (2017)

Según registros del Censo de Población y Vivienda de 2010, indica que el 100% de la población de la cuenca vive en lugares denominados como rurales (con menos de 1,500 habitantes, según definición del INEC) y con una población de 12,415 personas. Se reporta un total de 231 comunidades, en tres provincias (Coclé, Panamá Oeste y Colón), 5 distritos y 11 Corregimientos, los cuales están total o parcialmente, dentro de la cuenca de río Indio, a describir:

- *Provincia de Coclé*
  - Distrito de Penonomé: corregimientos de Río Indio y Chiriguí Arriba
  - Distrito de Antón: corregimiento de El Valle.

- *Provincia de Panamá Oeste:*
  - Distrito de Capira: Corregimientos de Cirí Grande, Santa Rosa, Cirí de los Sotos y El Cacao.

- *Provincia Colón*
  - Distrito de Chagres: corregimientos de La Encantada, Salud, Río Indio y Gobea.
  - Distrito de Donoso: corregimientos de Río Indio y Gobea.

El perfil topográfico del relieve del terreno demuestra que río Indio se eleva en la divisoria continental a unos 1,185 msnm y fluye en dirección Norte, unos 100 kilómetros sobre una distancia aérea de 63 kilómetros. El río desciende de la división continental en un gradiente de aproximadamente 6.5 %, fluye a través del tramo alto, relativamente estrecho de la cuenca, con un gradiente de aproximadamente 2.5 %, para luego registrar un gradiente medio de aproximadamente 0.4 % hacia el tramo medio, siendo el área más plana; en tanto en el tramo bajo hasta el océano el gradiente es de un 0.25 % (Línea base ambiental, 2017).

El análisis de los mapas topográficos permitió identificar las condiciones existentes en cada tramo de la cuenca, que oscilan desde cotas menores que van de 0 a 356 msnm, principalmente en el tramo bajo de la cuenca, las cuales incrementan progresivamente a lo largo de la cuenca hasta alcanzar alturas de 1,185 msnm, destacándose en el tramo alto, el cerro Gaital.

De acuerdo a la Línea Base Ambiental, la Clasificación de McKay, la cuenca del río Indio tiene dos zonas climáticas, clima tropical oceánico con estación seca corta y subtropical con estación seca.

El clima tropical oceánico se presenta en las tierras bajas de la provincia de Colón, pero con mayor pluviosidad anual y una corta, poco acentuada estación seca. Las temperaturas medias anuales son de 26.5 °C en las costas y de 25.5 °C hacia el interior del continente. Las precipitaciones son abundantes, se presentan alrededor de 4,760 mm en Coclé del Norte. Este clima posee una estación seca corta de cuatro a diez semanas de duración, con precipitaciones entre 40 y 90 mm entre febrero y marzo.

En cuanto al clima subtropical con estación seca, se caracteriza por ser cálido, con promedios anuales de temperatura de 26.5 a 27.5 °C en las tierras bajas (< 20 msnm), en tanto que para las tierras altas (aprox. 1,000 m) la temperatura puede llegar a 20°C. Se encuentra en las tierras bajas

y montañosas hasta 1,000 metros de altura en la vertiente del Pacífico en Chiriquí, Veraguas, en sectores montañosos de Azuero y Coclé y en las montañas de Panamá, San Blas y Darién. Los niveles de precipitación son elevados, cercanos o superiores a los 2,500 mm, alcanza los 3,519 en Remedios. El clima es de estación seca corta y acentuada con tres a cuatro meses de duración (Línea Base Ambiental, 2017).

Para la cuenca hidrográfica de río Indio, se estimó una precipitación promedio anual de 3057 mm y un caudal promedio anual de 22.2 m^3/s. (Caudal Ambiental, 2017)

En relación a usos de suelo, en el Estudio de Línea Base Socioeconómica General (2017), se realizó un análisis del periodo del 2012 al 2017, notándose cambios en cada uno de los tramos de la cuenca de río Indio. Entre ellos se resaltan:

- En el *tramo alto* las combinaciones de cambio de Uso Agropecuario a Bosque Intervenido (10.2 %) y lo inverso, de Bosque Intervenido a Uso Agropecuario (7.4 %) muestran una leve tendencia a lograr un equilibrio, sobre todo si consideramos el cambio de Bosque Intervenido a Rastrojo (5.1 %), sin embargo, la tendencia es a la recuperación de la cobertura vegetal. Otro cambio ocurrido para este tramo en este período fue de Bosque Maduro a Bosque Intervenido en un 3.7 %
- En el *tramo medio* se mantiene la tendencia identificada en el tramo anterior, a la recuperación de la cobertura vegetal, con un cambio de uso agropecuario a bosque intervenido en un 17.1 % del tramo, mientras que el proceso inverso de bosque intervenido a uso agropecuario es de solo 8.1 %. Sin embargo, el cambio de uso agropecuario a rastrojo alcanzó un 5.9 %, consolidando el proceso de recuperación.

  En relación al cambio de bosque maduro a bosque intervenido se detectó un deterioro del bosque en un 5.7 %. Los cambios de bosque intervenido a rastrojo y de rastrojo a bosque intervenido lograron un equilibrio con 3.6 % y 3.2 %, respectivamente.
- En el *tramo bajo* se mantuvieron las mismas relaciones que en el tramo medio, donde se observó un cambio de uso agropecuario a bosque intervenido en un 16.4% del tramo, mientras que el proceso inverso de Bosque Intervenido a Uso Agropecuario es de solo 7.9%. El deterioro del bosque maduro a bosque intervenido alcanzó un 6.9 %. En este tramo se muestra una leve tendencia al balance entre los cambios de uso agropecuario a rastrojo y rastrojo a uso agropecuario, con un 3.8% y 2.7%, respectivamente.

VI. Criterios de Selección de Estaciones de Monitoreo

Para determinar las estaciones de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas, se consideraron los siguientes criterios técnicos:

6.1 Cuerpos de Agua Superficiales (ríos)

a. Régimen hidrológico de la corriente principal y las secundarias.
b. Contenido del Decreto Ejecutivo No. 75 de 4 de junio de 2008, "Por el cual se dicta la norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo con y sin contacto directo.
c. Representatividad del cuerpo de agua
d. Accesibilidad a las estaciones de monitoreo.

Siguiendo los criterios antes descritos, el equipo técnico de ACP ha definido una red de 17 estaciones de monitoreo de calidad de agua distribuidas en el cauce principal de la cuenca y en los cuatro ríos secundarios de mayor aporte. Cabe destacar que se tomó en cuenta la información derivada del trabajo de campo realizado en el periodo lluvioso (2017) y seco (2018), para levantar la línea base ambiental de la cuenca de Indio, que permitió conocer características físicas del entorno y en sí, del cauce de los ríos.

Considerando la ruralidad de las comunidades de la cuenca y los limitados accesos, mayormente representados por caminos de herradura o por ríos navegables (en cayucos), se identificaron estaciones que contaran con accesos que permitieran realizar las campañas de muestreo durante las dos estaciones (lluviosa y seca) y así, también garantizar el tiempo de traslado de las muestras hasta el laboratorio que realizará los análisis.

Finalmente, se toma en cuenta en la selección de la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de agua, que los datos que arrojen las campañas de monitoreo se complementen con datos que emiten las estaciones hidrometeorológicas rehabilitadas en la cuenca de río Indio, buscando así la integración del índice de calidad vs cantidad del recurso hídrico de la cuenca.

La distribución de la red de monitoreo se puede apreciar en los anexos, **Mapa 2**.

6.2 Aguas Subterráneas (piezómetros)

a. Reconocimiento de campo
b. Geología de la cuenca de río Indio
c. Resultados del "Estudio de Prospección Geoeléctrica" elaborado por el Laboratorio de Investigaciones en Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Tecnológica de Panamá.
d. Tenencia, accesibilidad y permisos requeridos del predio
e. No generar impactos significativos desde la perspectiva social o ambiental

Durante el levantamiento de línea base ambiental, se realizaron visitas de campo a los tres tramos de la cuenca de río Indio para la identificación de áreas potenciales para el establecimiento de los piezómetros de monitoreo de calidad de agua, apoyados con el Mapa Geológico de Panamá, en especial atención a la geología del área de estudio (cuenca de río Indio). Una vez fueron definidas las áreas potenciales, se procedió a realizar un ensayo de resistividad eléctrica para definir la ubicación más precisa, donde se debían realizar las perforaciones para la instalación de los pozos de monitoreo. Seguido, se realizó la investigación de la tenencia y permisos para ingresar equipo de perforación del pozo y el establecimiento del piezómetro de monitoreo en los predios seleccionados. En **Tabla 4** se incluye información sobre las características de los estratos del pozo perforado para establecer el piezómetro.

En la siguiente figura se explica de manera gráfica la profundidad de perforación y detalles de instalación del piezómetro.

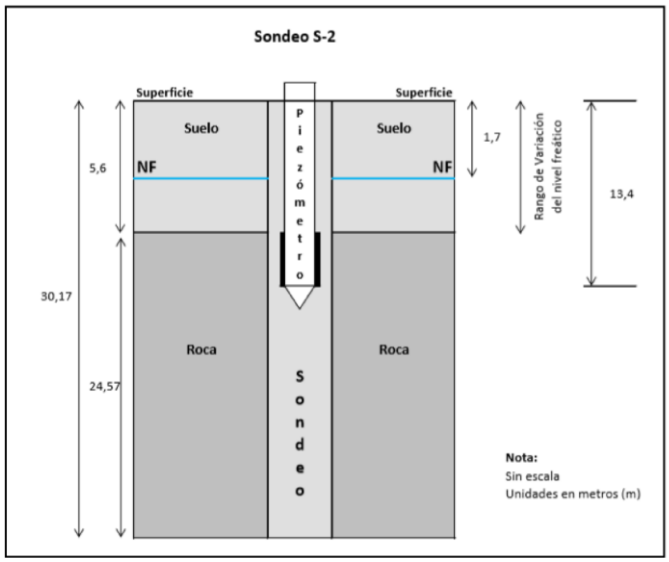


Figura 1 – Estructura del pozo P2 e instalación del piezómetro de monitoreo de calidad de agua subterránea.
Fuente: Informe de piezómetros - Estudios complementarios y estacionales de línea base ambiental, 2018

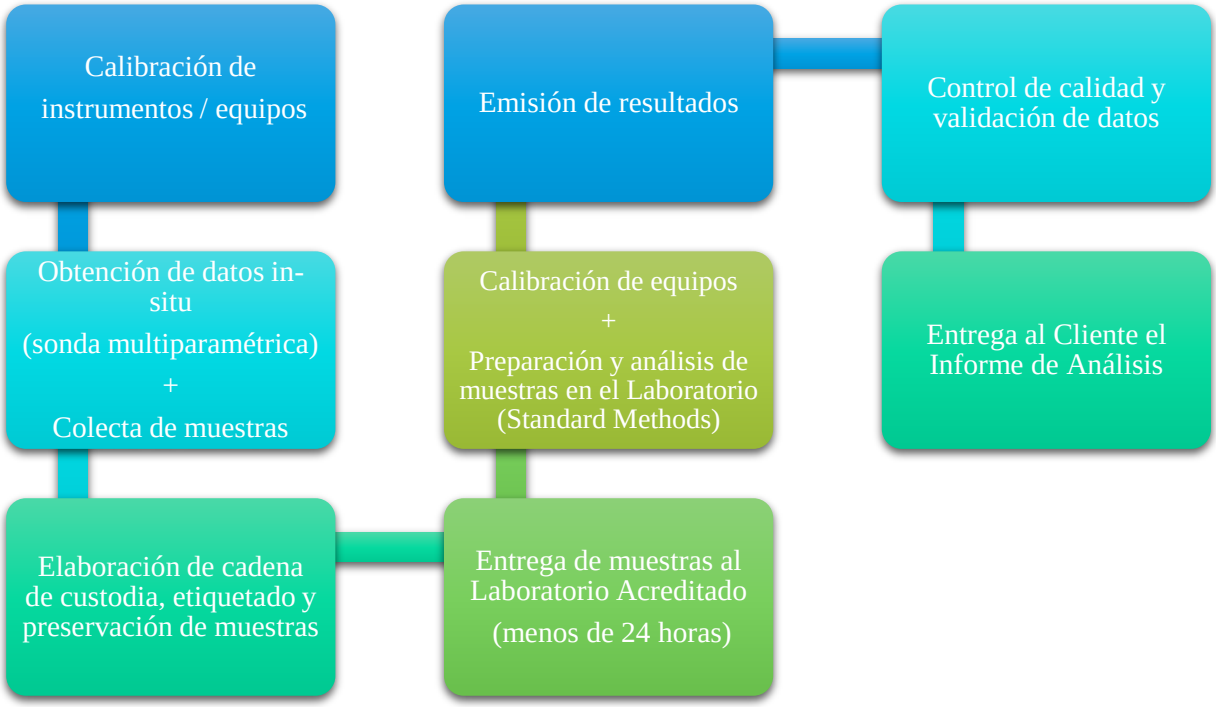
En el **Mapa 3** se observa la ubicación de los tres (3) piezómetros de monitoreo de aguas subterráneas, uno para cada tramo de la cuenca hidrográfica de río Indio.

VII. Metodología

7.1 Cuerpos de Aguas Superficiales (ríos)

- La toma de muestras y análisis de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos se realizarán a través de un laboratorio de agua debidamente acreditado ante el Consejo Nacional de Acreditación (CNA) o bien por el Laboratorio de Calidad Ambiental del Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE).
- Los métodos de muestreo y análisis a seguir son los recomendados por el "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" 22th Edition según se especifica en la **Tabla 2**.
- En las 17 estaciones de monitoreo se debe muestrear a nivel superficial y a profundidad. Para los efectos de control de la calidad, se debe muestrear y analizar en duplicado el 50% del total de las estaciones. Para tal fin, referirse a la **Tabla 3**.
- En cada estación de monitoreo, las muestras que se colecten deben estar acompañadas de una cadena de custodia (incluye las muestras en duplicado) según contenido mínimo especificado en el Anexo Documental 1, para garantizar la integridad de la muestra desde la colecta hasta la entrega de estas en el laboratorio. Esto incluye la capacidad de remontar la posesión y el manejo de la muestra a partir del tiempo de la colección hasta que se deseche la muestra.
- Cuando el cauce del río permita el muestreo (superficial y de fondo), de manera directa por el técnico (ingresando al río o desde bote), se colectará la muestra en la sección media del río, en sentido contrario a la corriente, donde haya flujo pero evitando turbulencias. En el caso de la muestra de fondo se debe introducir el envase cerrado, abrirlo una vez alcanzada la profundidad deseada y se tapa. Las muestras deben preservarse hasta la llegada al laboratorio para respectivos análisis.
- Cuando la profundidad del río en las diferentes estaciones, no permita la colecta directa por el técnico, se utilizarán herramientas como la botella Niskin para la colecta de la muestras en sentido contrario a la corriente, donde haya flujo pero evitando turbulencias. Las muestras deben preservarse hasta la llegada al laboratorio para respectivos análisis.

- Se contempla el uso de sondas con múltiples electrodos para la obtención de datos in situ y los demás parámetros, serán analizados en el laboratorio seleccionado para tal fin.
- En cada estación de monitoreo debe tomarse fotos para documentar la campaña de muestreo.

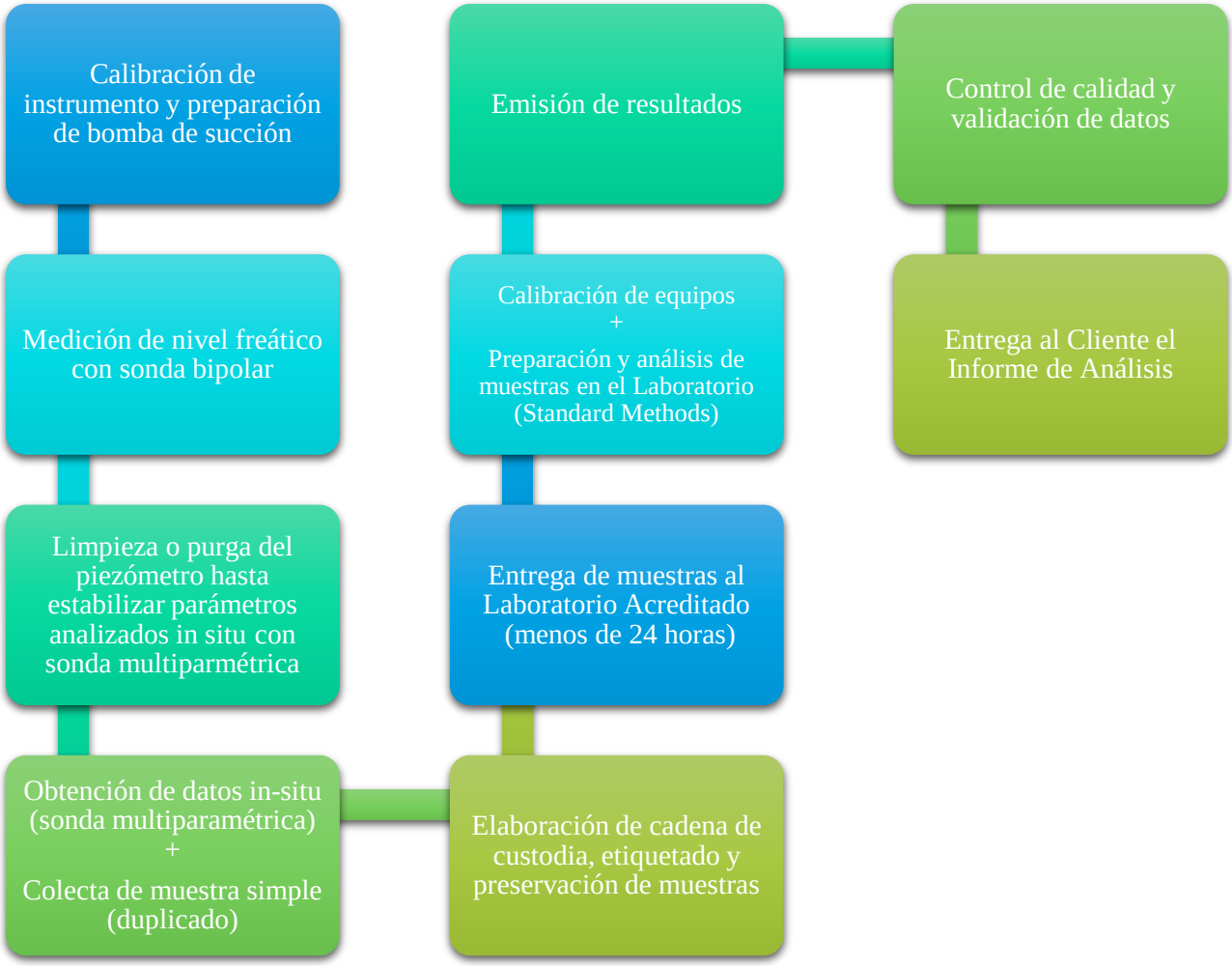


Flujograma No. 1 - Proceso de colecta de muestras en cuerpos de aguas superficiales y emisión de resultados (ACP, 2018)

7.2 Aguas Subterráneas

- La toma de muestras y análisis de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos se realizarán a través de un laboratorio de agua debidamente acreditado ante el Consejo Nacional de Acreditación (CNA) o bien por el Laboratorio de Calidad Ambiental del Ministerio de Ambiente.
- Los métodos de muestreo y análisis a seguir son los recomendados por el "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" 22th Edition según se especifica en la **Tabla 2**.

- Se define un total de 3 piezómetros de monitoreo, 1 por cada tramo de la cuenca, tomando como referencia el procedimiento AASHTO T252-96 – 2004 “Standard Method of Test for Measurements of Pore Pressures in Soils”.
- Previo a la toma de muestras, se debe realizar:
  a. Medición estática del agua con el apoyo de una cinta métrica con sensor en la punta de la sonda bipolar para medición de nivel de agua.
  b. Realizar proceso de limpieza o “purga” de los pozos construidos para su monitoreo, utilizando una bomba de succión portátil (extensión mínima de 60 pies) que permita transportarse por lanchas menores.
  c. La fase de purga del pozo culmina cuando el volumen de agua extraído del pozo y vertida en un recipiente, muestre tendencia que los parámetros de campo (lectura con una sonda multi-parámetrica) están estables. Estos parámetros son: pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad y Turbiedad.
- En cada estación de monitoreo o piezómetro, las muestras que se colecten deben estar acompañadas de una cadena de custodia (incluye las muestras en duplicado) según contenido mínimo especificado en el Anexo Documental 2, para garantizar la integridad de la muestra desde la colecta hasta la entrega de estas en el laboratorio. Esto incluye la capacidad de remontar la posesión y el manejo de la muestra a partir del tiempo de la colección hasta que se deseche la muestra.
- Las muestras serán simples y en los tres pozos se colectarán y analizarán en duplicado, para los efectos de control de la calidad. Para tal fin, referirse a la **Tabla 4**. Las muestras se colectarán en envases plásticos y vidrio (color ámbar), dependiendo de los parámetros (considerando el Reglamento Técnico 21-393-99).
- Se contempla el uso de sondas con múltiples electrodos para la obtención de datos in situ y los demás parámetros, serán analizados en el laboratorio seleccionado para tal fin.
- En cada estación de monitoreo debe tomarse fotos para documentar la campaña de muestreo.



Flujograma 2: Proceso de colecta de muestras de aguas subterráneas y emisión de resultados (ACP, 2018)

Tabla 2

Métodos analíticos de los parámetros de calidad de agua (ríos y aguas subterráneas)

Tipo	Parámetro	Unidad de Medida	Método de Análisis	Técnica Analítica
In Situ	pH	Unidades de potencial de hidrógeno	SM 4500 H^+ B	Electrométrico
	Conductividad eléctrica	µS/cm	SM 2510 B	Conductimetría
	Oxígeno disuelto	mg/L % sat.	SM 4500-O C SM 4500-O G	Modificación de azida Electrodo de membrana
	Temperatura	ºC	SM 2550 B	Termistor
	Salinidad	ppm	SM 2520 B SM 2520 C	Potenciómetro Densidad
	Transparencia	Transparencia[2] (m)	n/a	Disco Secchi
Bacteriológicos	Coliformes Total	CFU/100 mL NMP/100mL	9222 B 9223 B	Filtro de Membrana Método Colilert-18®
	Coliformes fecales	CFU/100 mL NMP/100mL	9222 D 9223 D	Filtro de Membrana Método Colilert-18®
	E. coli	NMP/100mL	9223 B	Método Colilert-18®
Sólidos	Turbiedad	NTU	2130 B	Nefelométrico
	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	SM 2540 C	Gravimétrico
	Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	SM 2540 D	Gravimétrico
Biológicos	Demanda Bioquímica de Oxígeno (A los 5 días)	mg/L	5210 B	Modificación de Azida
Aniones Mayoritarios	Alcalinidad Total (OH^-, HCO_3, CO_3)	mg/L	SM 3111-B	Volumétrico
	Sulfatos (SO_4^{2-})	mg/L	4500-SO_4^{2-} E	Turbidimétrico
	Cloruros (Cl^-)	mg/L	4500-Cl^- D	Potenciómetría

Tipo	Parámetro	Unidad de Medida	Método de Análisis	Técnica Analítica
Cationes Mayoritarios	Dureza total	mg/L	SM 2340-B	Calculada
	Na^{+}, Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+}	mg/L	SM 3111-B	Espectrometría de absorción atómica
Nutrientes	Ortofosfatos ($P\text{-}PO_4$)	mg/L	4500-P E	Colorimetría
	Nitratos ($N\text{-}NO_3$)	mg/L	45500-NO_3^- B 45500-NO_3^- E	Espectrofotometría (absorción ultravioleta) Colorimétrico (reducción de cadmio)
	Nitritos ($N\text{-}NO_2$)	mg/L	45500-NO_2^- B	Colorimétrico
Semimetales	Arsénico	µg metal/L	3500-As B	Espectrometría de absorción atómica
Metales	Cadmio	µg metal/L	3500-Cd B	Espectrometría de absorción atómica
	Plomo	µg metal/L	3500-Pb B	Espectrometría de absorción atómica
	Mercurio	µg metal/L	3500-Hg B	Espectrometría de absorción atómica
	Cromo total	µg metal/L	3500-Cr B	Espectrometría de absorción atómica

Fuente: SM y ACP, 2018

VIII. Estrategia de Implementación del Programa de Monitoreo

Este programa ha sido diseñado para que una vez aprobado pase a la siguiente fase de implementación y se puedan realizar ajustes según los resultados que se obtenga.

8.1 Etapa I (octubre 2018 – octubre 2019)

Consiste en la ejecución del programa por doce (12) meses, con una periodicidad de muestreos bimensual. Una vez transcurridos los 12 meses, se procederá con la revisión y ajustes (caso aplique) de los parámetros, sitios y periodicidad de muestreo, según la data colectada durante el primer año de implementación.

8.2 Etapa II (octubre 2019 – enero 2020)

Segunda fase de la ejecución del programa de monitoreo, según la revisión del presente programa de monitoreo (a implementar en la Etapa I).

8.3 Etapa III

Consiste en la continuidad de la implementación del programa de monitoreo de calidad de agua, de acuerdo a la planificación y presupuesto estipulado por el Ministerio de Ambiente.

Flujograma 3: Proceso para la generación de los Informes de Calidad de Agua (ACP, 2018)

IX. Estaciones de Monitoreo de Calidad de Agua

En las **Tablas 3** y **4** se describe de manera sucinta la ubicación de las estaciones de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca hidrográfica de río Indio.

Tabla 3

Estaciones de monitoreo de los cuerpos de agua superficial (ríos)

Río	Sección del Cauce	Comunidad	Estaciones con Duplicado	Superficial y Fondo	Coordenada Geográfica (WGS84)	
Río Indio (RI)	Alta	Alto de La Mesa	√	√	597713	955271
	Alta	Río Indio de los Chorros		√	596073	968723
	Media	Alto del Silencio	√	√	591450	980435
	Media	Boca de Uracillo	√	√	590737	992428
	Baja	El Jobito		√	589231	1002675
	Baja	El Cajón	√	√	588239	1013491
Río Teriá (RT)	Alta	Teriá Nacimiento		√	600485	969834
	Media	Santa Rosa No. 1		√	598619	981044
	Baja	Tres Hermanas	√	√	596647	984876
Río Uracillo (RU)	Alta	Las Canoas		√	586803	976753
	Media	Las Marías		√	585595	982829
	Baja	Boca de Uracilo	√	√	590565	991278
Río La Encantada (RLE)	Alta	Alcarreto		√	596514	991726
	Media	Las Cruces	√	√	594398	999269
	Baja	La Encantada	√	√	588556	1005824
Río El Jobo (REJ)	Media	Las Minas		√	587238	996983
	Baja	Guayabalito	√	√	588273	1001214

Fuente: ACP, 2018

Tabla 4

Estaciones de monitoreo de aguas subterráneas (piezómetros)

Tramo de la Cuenca	Código del Piezómetro	Profundidad del Piezómetro (m)	Ubicación	Estaciones con Duplicado	Coordenadas Geográficas (WGS84)	Características del Estrato del Pozo	
						Profundidad de la Perforación	*Descripción*
Alto	P1	10.5	Comunidad de Río Indio de Los Chorros, corregimiento de Ciri Grande, distrito de Capira, provincia de Panamá Oeste.	√	595877 969359	0 - 6	Material de relleno de los movimientos de tierra para la construcción de la carretera conformada por grava limosa de baja plasticidad color marrón amarillento claro.
						6 - 9	Limo arenoso de color marrón rojizo claro de plasticidad media.
						9 - 11.9	Arena limosa de color marrón rojizo oscuro de plasticidad media a baja. Existe contacto con la roca meteorizada
						11.9 - 30.7	Roca sana de color gris sin decoloración ni oxidación de tipo aglomerado tobásico.
Medio	P2	13.3	Comunidad de Boca de Uracillo, corregimiento de Río Indio, distrito de Penonomé, provincia de Coclé	√	590473 991500	0 - 5.6	Limo elástico de alta plasticidad muy húmedo de color marrón rojizo.
						5.6 - 10.10	Roca ligeramente meteorizada de color gris medio con decoloración y oxidación en las juntas abiertas de tipo sedimentaria arcilla consolidada-arisca arcillosa.
						10.1 - 11.6	Roca moderadamente meteorizada de color gris oscuro con separaciones parciales de tipo sedimentaria arcilla consolidada-arenisca arcillosa
						11.6 - 16.10	Roca moderadamente meteorizada de color gris claro con juntas abiertas de tipo sedimentario arcilla consolidada-arisca arcillosa.
						16.1 - 20.3	Roca moderadamente meteorizada de color gris claro juntas abiertas de tipo sedimentaria arenisca lutita.
						20.3 – 30.17	Roca ligeramente meteorizada de color gris medio con juntas cerradas de tipo sedimentaria arenisca.

Tramo de la Cuenca	Código del Piezómetro	Profundidad del Piezómetro (m)	Ubicación	Estaciones con Duplicado	Coordenadas Geográficas (WGS84)	Características del Estrato del Pozo	
						Profundidad de la Perforación	*Descripción*
Bajo	P3	10.4	Comunidad de La Encantada, corregimiento de La Encantada, distrito de Chagres, provincia de Colón	√	588592 1005608	0-5.20	Limo elástico de alta plasticidad muy húmedo de color marrón rojizo.
						5.2 - 30.7	Roca sedimentaria limolita con fósiles, formación Gatún, ligeramente meteorizada de color gris medio de junta cerradas y de dureza muy suave o suave.

Fuente: Estudios complementarios y estacionales de línea base ambiental y ACP, 2018

X. Análisis de Resultados del Programa

Para este programa se contempla la aplicación de un índice de calidad del agua (ICA), considerando que representa un indicador que muestra, a partir de los datos que arrojan las campañas de monitoreo, la condición del agua o calidad global del agua en una ubicación y tiempo específico. Además, es posible realizar comparaciones temporales y espaciales con otros cuerpos de agua superficial y subterránea, dar una interpretación de calidad, mostrar tendencias ambientales (mejora o deterioro de la calidad), tomar decisiones por las autoridades y formular comunicados de fácil interpretación para el público en general.

El índice está expresado como porcentaje del agua pura, así: agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero; en tanto que en el agua en excelentes condiciones, el valor del índice será cercano a cien por ciento, tal como se muestra en la **Tabla 5**.

El índice de calidad de agua fue desarrollado en 1970 por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos de América (NSF por sus siglas en inglés). Para éste cálculo se emplean 9 parámetros: oxígeno disuelto (%), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), coliformes fecales, orto fosfatos (P-PO4), nitratos (N-NO3), potencial de Hidrógeno (pH), desviación de temperatura, turbiedad y sólidos disueltos totales.

Se calculará el índice de calidad de agua para el río principal (Indio) y las cuatro subcuencas (ríos Jordanal, Uracillo, Teriá y La Encantada).

El ICA se calcula bajo la siguiente formula:

$$ICA = \frac{\sum_{i-1}^{n} l_i W_i}{\sum_{i-1}^{n} W_i}$$

Dónde:

ICA = Índice de calidad del agua global

l_i = Subíndice de calidad del agua para el parámetro i

W_i = Peso relativo asignado a cada parámetro (Sub *i*), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

n= Número de parámetros analizados (9)

Tabla 5

Rangos y clasificación para los valores del ICA

Rangos	Color	Calificación (descriptor)
91-100	**Azul**	No contaminada (excelente)
71-90	**Verde**	Aceptable (buena)
51-70	**Amarillo**	Poco contaminada (regular)
26-50	**Naranja**	Contaminada (mala)
0-25	**Rojo**	Altamente contaminada (pésima)

Fuente: Informe de Monitoreo de la Calidad del Agua (MiAMBIENTE 2009-2012)

XI. Referencias Bibliográficas

- Línea Base Ambiental de la Cuenca de Río Indio. Autoridad del Canal de Panamá, 2017
- Estudios complementarios y estacionales de línea base ambiental, Autoridad del Canal de Panamá, 2017.
- Decreto Ejecutivo No. 75 de 4 de junio de 2008, por el cual se dicta la norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo con y sin contacto directo.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Edition 2012.
- Informe de Calidad de Agua de la Cuenca del Canal 2010. Departamento de Ambiente, Agua y Energía. División de Agua. Unidad de Calidad de Agua. Autoridad del Canal de Panamá, 2010.
- Guías para la calidad de Agua Potable. Organización Mundial de la Salud, 2006
- Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-393-99/ Toma de Muestra: Se establece la metodología de la obtención de una muestra representativa de agua para determinar a partir de ella sus características químicas y radiológicas. Publicado en la Gaceta Oficial No. 23,941 de 6 de diciembre de 1999.
- Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 22-394-99/ Toma de Muestra para Análisis Biológico: Se establece la metodología para obtener una muestra representativa del agua para determinar a partir de ella la calidad biológica de interés sanitario en los abastecimientos de agua potable. Publicado en la Gaceta Oficial No. 23, 949 de 17 de diciembre de 1999.
- Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99/ Definiciones y Requisitos Generales: Se establecen los requisitos físicos, químicos, biológicos y radiológicos que debe cumplir el agua potable. Publicado en la Gaceta Oficial No. 23,942 de 7 de diciembre de 1999.
- USEPA (EPA-600/4-79-020) sobre normas de control de aguas subterráneas y aguas residuales.
- Decreto Ley N° 35 de 22 de septiembre de 1966. Reglamenta la explotación de las aguas del Estado, para su aprovechamiento conforme al interés social. Publicado en la Gaceta Oficial No. 15725 de 22 de septiembre de 1966.
- Ley No. 8 de 25 de marzo de 2015, se crea el MiAMBIENTE.

- Decreto Ejecutivo No. 36 de 28 de mayo de 2018, que Instituye la Nueva Estructura Orgánica del Ministerio de Ambiente y dicta otras disposiciones. Publicado en la Gaceta Oficial No. 28536-A de 30 de mayo de 2018.

XII. Conclusiones y Recomendaciones

- El diseño e implementación de un programa de monitoreo de calidad de agua (superficial y subterránea) para la cuenca de río Indio, contribuirá a establecer parámetros de planificación y alerta temprana, para definir estrategias y acciones o medidas de adaptación y mitigación, con el objetivo de reducir los impactos negativos y garantizar la disponibilidad a largo plazo tanto en calidad como cantidad.
- Revisar el presente programa anualmente según lo establece el Decreto Ejecutivo No. 75 de 4 de junio de 2008.
- Elaborar los Informes Anuales de Calidad del Agua (cuerpos de agua superficial y subterránea) para la cuenca hidrográfica de río Indio, que además incluya los indicadores simplificados (ICA) que permita ser comparable con los datos que se generan a nivel de las otras cuencas hidrográficas del país.

XIII. Anexos

13.1 Anexo Documental

13.1.1 Contenido mínimo de la cadena de custodia para muestreo de aguas superficiales

DATOS GENERALES

- Nombre del Laboratorio y código de acreditación
- Cliente del muestreo
- No. de cadena de custodia/ plan de muestreo (trazabilidad)
- Fecha de muestreo (principio metrológico)
- Persona (s) responsable (s) del muestreo
- Objetivo del muestreo
- Nombre de cuerpo de agua/No. de cuenca (**No. 111**)
- Nombre de contacto (s) y teléfonos

DATOS DE CAMPO

- Identificación de muestra (ver **Mapa 2** del Programa de Monitoreo)
- Origen de la muestra (río, quebrada, lago, otros)
- Ubicación del muestreo (Comunidad, Corregimiento, distrito y provincial)
- Coordenada de la estación de monitoreo (WSG84)
- Condiciones del clima
- Descripción del entorno de la estación de muestreo (incluir si se observa un uso del cuerpo de agua al momento del muestreo)
- Fecha y hora de muestreo (principio Metrológico)
- Datos de parámetros medidos de campo.
- Anotación de código de la muestra e identificación de análisis a realizar en laboratorio
- No. y tipo de botellas o envases. Indicar tipos de preservantes
  - Parámetro
    - Preservada (sí/no)
    - Acidificada (sí/no)
- Tipo de muestra: Simple, compuesta o integrada
- Observaciones
- Firma del responsable

DATOS DE LABORATORIO

- Entregado por
- Recibido por
- Fecha y hora
- No. de muestras recibidas conforme

- No. de muestras recibidas en el periodo de análisis
- Conservación de las muestras (frío / temperatura ambiente)
- Observaciones de Laboratorio
- Fecha de emisión de lectura de los resultados de los parámetros de laboratorio
- Firma del responsable del análisis
- Tratamiento y sitio de descarte de muestras
- Fecha de descarte de las muestras

Observación:
Siempre debe quedar constancia de la verificación de los equipos de campo. Trazabilidad de la información registrada en la cadena de custodia con las etiquetas de los envases de las muestras.

13.1.2 Contenido mínimo de la cadena de custodia para muestreo de aguas subterráneas

DATOS GENERALES

- Nombre del Laboratorio y código de acreditación (CNA)
- Cliente del muestreo
- No. de cadena de custodia/ plan de muestreo (trazabilidad)
- Fecha de muestreo (principio metrológico)
- Persona (s) responsable (s) del muestreo
- Objetivo del muestreo
- No, de cuenca (**No. 111**)
- Nombre de contacto (s) y teléfonos

DATOS DE CAMPO

- Código o identificación de muestra (ver **Mapa 3** del Programa de Monitoreo)
- Origen de la muestra (agua subterránea - piezómetro)
- Ubicación del muestreo (Comunidad, Corregimiento, distrito y provincial)
- Coordenada del piezómetro (WSG84)
- Datos del piezómetro: diámetro y profundidad
- Condiciones del clima
- Descripción del entorno del pozo
- Profundidad del nivel freático o nivel estático (m): se mide mediante sonda bipolar.
- Forma de extracción del agua: bomba. Indicar las características de la bomba: caudal (m^3/h), el tipo de motor, la potencia y la marca
- Datos de la purga o limpieza del pozo:
  - Hora
  - Tiempo de cada purga (inicio-fin)
  - Volumen (L)
  - Caudal (L/s)
  - Resultados de la medición de parámetros in situ hasta estabilizar
- Uso del pozo: monitoreo de calidad de agua.
- Fecha y hora de muestreo (principio metrológico)
- Datos de parámetros medidos de campo.
- Anotación de código de la muestra e identificación de análisis a realizar en laboratorio
- No. y tipo de botellas o envases. Indicar tipos de preservantes
  - Parámetro
    - Filtrada (sí/no)
    - Preservada (sí/no)
    - Acidificada (sí/no)
- Tipo de muestra: Simple o compuesta
- Observaciones
- Firma del responsable

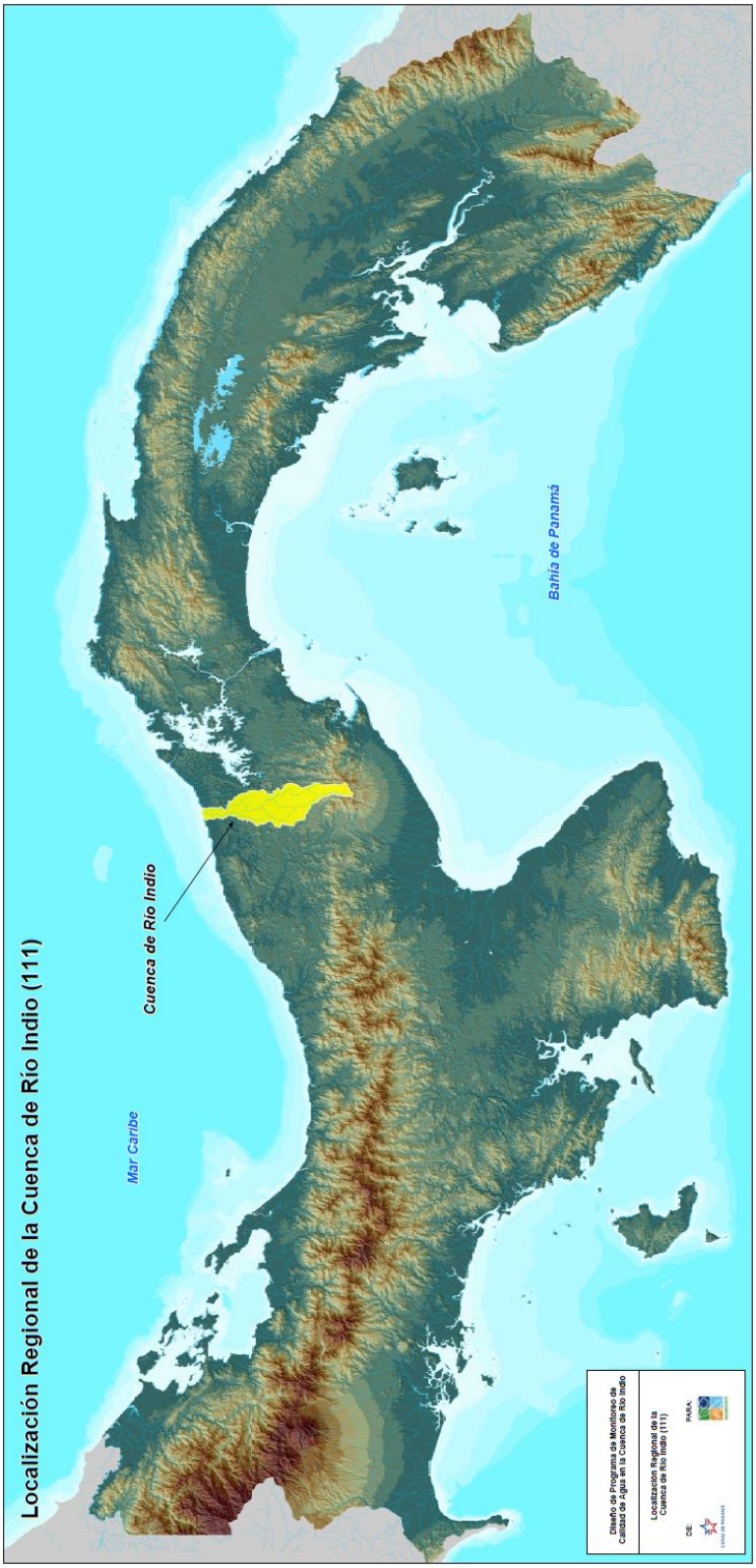
DATOS DE LABORATORIO

- Entregado por
- Recibido por
- Fecha y hora
- No. de muestras recibidas conforme
- No. de muestras recibidas en el periodo de análisis
- Conservación de las muestras (frío / temperatura ambiente)
- Observaciones de Laboratorio
- Fecha de emisión de lectura de los resultados de los parámetros de laboratorio
- Firma del responsable del análisis
- Tratamiento y sitio de descarte de muestras
- Fecha de descarte de las muestras

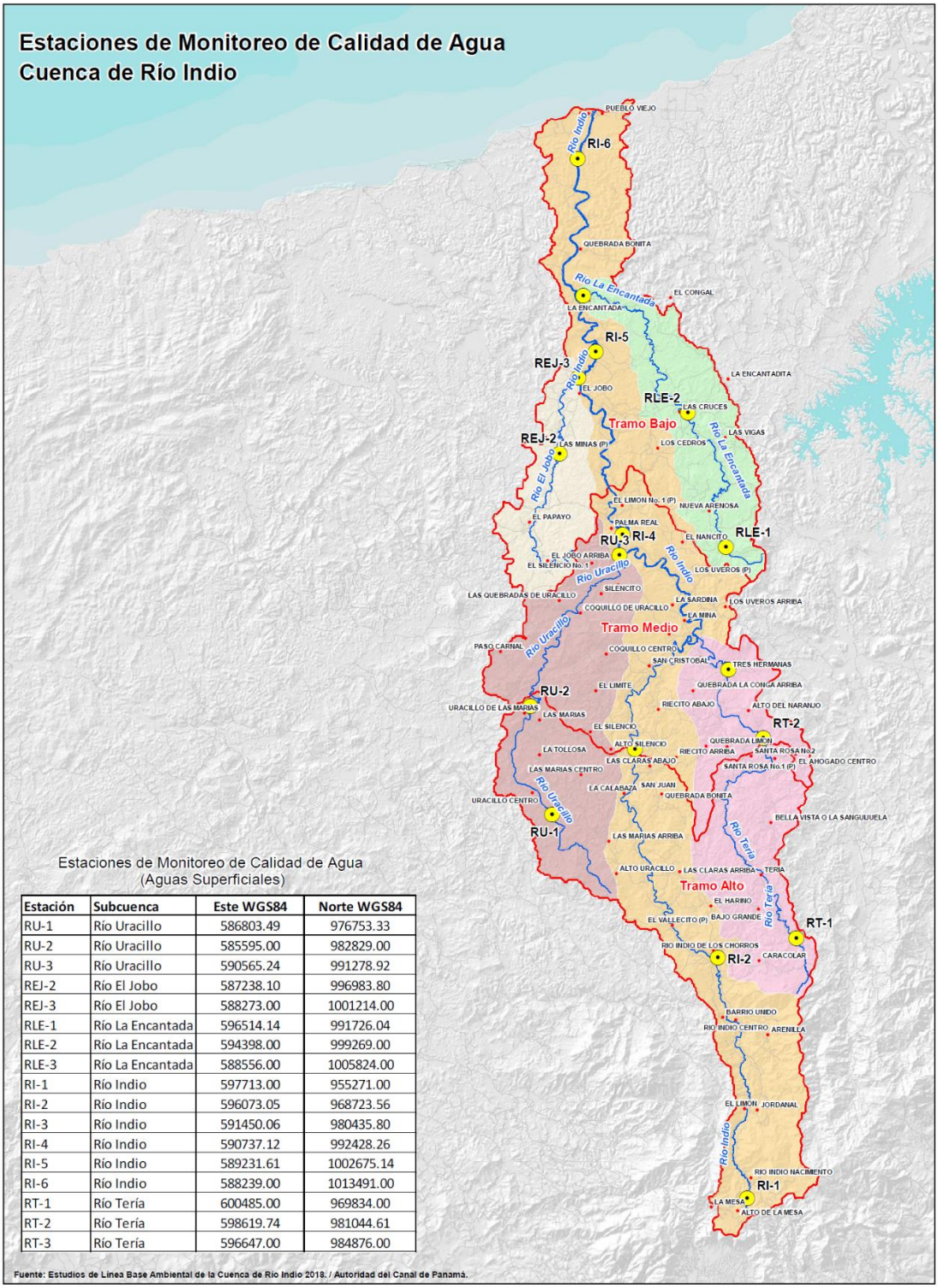
Observación:
Siempre debe quedar constancia de la verificación de los equipos de campo. Trazabilidad de la información registrada en la cadena de custodia con las etiquetas de los envases de las muestras.

13.2 Mapas

Mapa 1 **-** Localización Regional de la Cuenca Hidrográfica de Río Indio

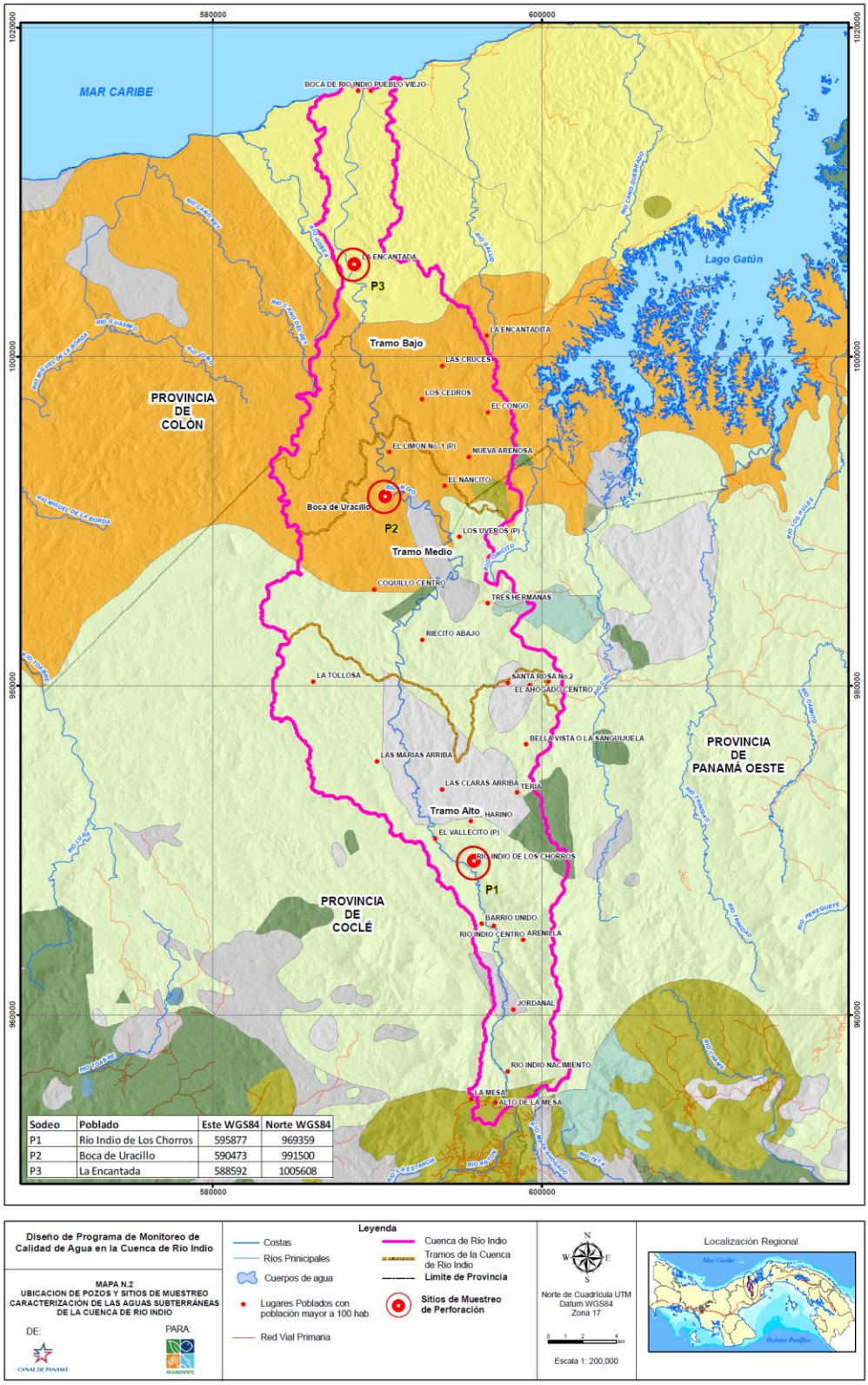


Mapa 2 - Ubicación de las Estaciones de Monitoreo de Cuerpos de Agua Superficial



Estación	Subcuenca	Este WGS84	Norte WGS84
RU-1	Río Uracillo	586803.49	976753.33
RU-2	Río Uracillo	585595.00	982829.00
RU-3	Río Uracillo	590565.24	991278.92
REJ-2	Río El Jobo	587238.10	996983.80
REJ-3	Río El Jobo	588273.00	1001214.00
RLE-1	Río La Encantada	596514.14	991726.04
RLE-2	Río La Encantada	594398.00	999269.00
RLE-3	Río La Encantada	588556.00	1005824.00
RI-1	Río Indio	597713.00	955271.00
RI-2	Río Indio	596073.05	968723.56
RI-3	Río Indio	591450.06	980435.80
RI-4	Río Indio	590737.12	992428.26
RI-5	Río Indio	589231.61	1002675.14
RI-6	Río Indio	588239.00	1013491.00
RT-1	Río Tería	600485.00	969834.00
RT-2	Río Tería	598619.74	981044.61
RT-3	Río Tería	596647.00	984876.00

Mapa 3 **-** Ubicación de las Estaciones de Monitoreo de Aguas Subterráneas



Sodeo	Poblado	Este WGS84	Norte WGS84
P1	Río Indio de Los Chorros	595877	969359
P2	Boca de Uracillo	590473	991500
P3	La Encantada	588592	1005608

Diseño de Programa de Monitoreo de Calidad de Agua en la Cuenca de Río Indio

MAPA N.2
UBICACION DE POZOS Y SITIOS DE MUESTREO CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA DE RIO INDIO

DE: CANAL DE PANAMÁ

PARA: MARNRENOVABLES

Leyenda

- Costas
- Ríos Prinicipales
- Cuerpos de agua
- Lugares Poblados con población mayor a 100 hab.
- Red Vial Primaria
- Cuenca de Río Indio
- Tramos de la Cuenca de Río Indio
- **Límite de Provincia**
- **Sitios de Muestreo de Perforación**

Norte de Cuadrícula UTM
Datum WGS84
Zona 17

Escala 1: 200,000

Localización Regional