Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

2019-I01-026837

INFORME N.° 00200 - 2019-OEFA/DEAM- SSIM

A : **FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN**
Director de Evaluación Ambiental

DE : **ARMANDO MARTÍN ENEQUE PUICÓN**
Subdirector de la Subdirección de Sitios Impactados

LLOJAN CHUQUISENGO PICON
Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Energía

EDGAR LUIS CÁCERES ANGULO
Asistente de Evaluaciones Ambientales

ASUNTO : **Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de hidrocarburos totales de petróleo y metales en sedimento de los ríos Cuninico, Nucuray y, Urituyacu y la quebrada Patoyacu, asociados al km 39+500 y km 90+000 del Tramo I del ONP, evaluados en diciembre de 2018 y marzo de 2019**

CUE : 2018-05-0160 y 2019-01-0034

CÓDIGO DE ACCIÓN : 0005-11-2018-402 y 0009-3-2019-402

FECHA : Jesús María, 05 de junio de 2019,

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y, en relación al asunto de la referencia, informar lo siguiente:

1. INFORMACIÓN GENERAL

Detalles de la evaluación ambiental:

Tabla 1.1. Datos de la evaluación ambiental

a.	Zona evaluada	Distrito Lagunas, provincia Alto Amazonas y distrito Urarinas, provincia y departamento Loreto
b.	Unidades fiscalizables/ actividades económicas en la zona de estudio	Entre el km 39+500 al km 90+000 del Tramo I del Oleoducto Norperuano de Petróleos del Perú – Petroperú S.A. ubicado en el ámbito de la cuenca del río Marañón
c.	Problemática identificada	Presunta contaminación ambiental debido a los derrames de petróleo crudo, registrados Entre el km 39+500 al km 90+000 del Tramo I del Oleoducto Norperuano de Petróleos del Perú – Petroperú S.A.
d.	La actividad se realizó en el marco de	Pedido de la DSEM
e.	Periodo de ejecución	Del 29 de noviembre al 11 de diciembre de 2018 y del 18 al 26 de marzo de 2019

Profesionales que aportaron al estudio

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N.°	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Armando Eneque Puicón	Biólogo	Gabinete
2	Llojan Chuquisengo Picon	Lic. Químico	Gabinete
3	Edgar Luis Cáceres Angulo	Lic. Estadístico	Gabinete
4	Cristhian Chavarry Castro	Biólogo	Gabinete y campo
5	Lidia Prisila Huaraca Quispe	Biólogo	Gabinete
6	Victor Montesinos Calle	Bach. en Ingeniería Ambiental	Gabinete y campo
7	Luis Alonzo Condor Arce	Ingeniero Químico	

2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

La matriz y parámetros evaluados aguas arriba de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu, asociados al km 39+500 y km 90+000 del Tramo I del ONP se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Matriz y parámetros evaluados

Matriz evaluada	Fecha (Mes/Periodo)	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos/estaciones evaluados
Sedimento	Diciembre/2018	Fracción de hidrocarburos F1 (C_6-C_{10}) Fracción de hidrocarburos F2 (C_{10}-C_{28}) Fracción de hidrocarburos F3 (C_{28}-C_{40})	11
		Hidrocarburos Totales de Petróleo - TPH (C_{10}-C_{40})	11
		Metales incluido mercurio	11
		Cromo hexavalente	11
	Marzo/2019	Fracción de hidrocarburos F1 (C_6-C_{10}) Fracción de hidrocarburos F2 (C_{10}-C_{28}) Fracción de hidrocarburos F3 (C_{28}-C_{40})	15
		Hidrocarburos Totales de Petróleo - TPH (C_{10}-C_{40})	15
		Metales incluido mercurio	15
		Cromo hexavalente	15

Las concentraciones de TPH y metales en el sedimento tomados aguas arriba de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu, asociados al km 39+500 y km 90+000 del Tramo I del ONP, fueron analizadas aplicando los métodos estadísticos, a fin de determinar los niveles de fondo (NF) y niveles de referencia (NR), los cuales se presentan en las Tablas 2.2 y 2.3.

Tabla 2.2. Resultados de niveles de fondo y niveles de referencia para TPH y fracciones de hidrocarburos en sedimentos

Parámetros	Ríos y quebrada	
	Nivel de fondo (mg/kg) PS	Nivel de referencia (mg/kg) PS
Compuestos orgánicos		
TPH(C_{10}-C_{40})	45,46	101,1
Fracción 2 (C_{10}-C_{28})	14,79	30,28
Fracción 3 (C_{28}-C_{40})	48,97	89,03

Tabla 2.3. Resultados de niveles de fondo y niveles de referencia para 18 metales en ríos y quebrada

N.°	Parámetros	Ríos y quebrada	
		Nivel de fondo (mg/kg) PS	Nivel de referencia (mg/kg) PS
1	Aluminio	20356	35595
2	Bario	211,9	453,1
3	Calcio	3256	4123
4	Cobalto	15,6	24,77
5	Cobre	22,98	41,54
6	Cromo	26,44	37,23
7	Estroncio	56,92	79,54
8	Fósforo	675,3	1003
9	Hierro	26460	38418
10	Magnesio	3295	4360
11	Manganeso	727,7	1402
12	Níquel	22,08	33,96
13	Potasio	549,3	902,8
14	Silicio	498,1	749,8
15	Sodio	458,9	667,6
16	Titanio	949,2	1402
17	Vanadio	71,11	99,74
18	Zinc	64,48	87,93

3. PRINCIPALES CONCLUSIONES

i) Se realizó el análisis estadístico para establecer los niveles de fondo y niveles de referencia para TPH, fracciones de hidrocarburos F1 (C_6-C_{10}), F2 (C_{10}-C_{28}) y F3 (C_{28}-C_{40}), 32 metales y cromo hexavalente en sedimentos aguas arriba de los ríos Cuninico, Nucuray, Urituyacu, y quebrada Patoyacu asociados a los Km 39+500 al Km 90+000 del Canal de flotación del Tramo I del ONP.

ii) El nivel de fondo para TPH en sedimento en los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, quebrada Patoyacu asociados a los Km 39+500 al Km 90+000 del Canal de flotación del Tramo I del ONP es de 45,46 mg/kg, y para las fracciones de hidrocarburos F2 y F3 son 14,79 mg/kg y 48,97 mg/kg, respectivamente.

iii) El nivel de referencia para TPH en sedimento en los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, quebrada Patoyacu asociados a los Km 39+500 al Km 90+000 del Canal de flotación del Tramo I del ONP es de 101,1 mg/kg, y las fracciones de hidrocarburos F2 y F3 son 30,28 mg/kg y 89,03 mg/kg, respectivamente.

iv) El nivel de fondo y nivel referencia determinados para los 18 metales: Aluminio, bario, calcio, cobalto, cobre, cromo, estroncio, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, níquel, potasio, silicio, sodio, titanio, vanadio y zinc, en sedimentos de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, quebrada Patoyacu asociados del Km 39+500 al Km 90+000 del Canal de flotación del Tramo I del ONP, se presentan en la Tabla 2.3 del presente informe.

4. RECOMENDACIÓN

- Aprobar el informe de determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de hidrocarburos totales del petróleo y metales en sedimento aguas arriba de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu, que intersecan el Canal de flotación entre las progresivas Km 39+500 y Km 90+000 del Tramo I del ONP evaluados en diciembre de 2018 y marzo de 2019, en vista que cuenta con el sustento técnico requerido.

- Emplear los niveles de fondo y de referencia calculados para la evaluación del estado de la calidad ambiental de sedimentos en el Canal de flotación ubicado entre el Km 39+500 al Km 90+000 del Tramo I del ONP.

Atentamente:

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: ENEQUE PUICON Armando Martin (FIR16723309)
Cargo: Subdirector de Sitios Impactados
Lugar: Sede Central - Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del documento

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: CHUQUISENGO PICON Llojan FIR 43052135 hard
Cargo: Coordinador en Evaluación Ambiental en Energía
Lugar: Sede Central - Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del documento

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: CACERES ANGULO Edgar Luis (FIR43435018)
Cargo: Asistente de Evaluaciones Ambientales - Asistente I
Lugar: Sede Central - Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del documento

Visto este informe la Dirección de Evaluación Ambiental ha dispuesto su aprobación.

Atentamente:

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: GARCIA ARAGON Francisco (FIR31044541)
Cargo: Director de la Direccción de Evaluación Ambiental
Lugar: Sede Central - Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del documento

"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando los dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. Nª 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: https://sistemas.oefa.gob.pe/verifica e ingresando la siguiente clave: 03845700"

03845700

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Oefa Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

DETERMINACIÓN DE NIVELES DE FONDO Y NIVELES DE REFERENCIA DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO Y METALES EN SEDIMENTO DE LOS RÍOS CUNINICO, NUCURAY, URITUYACU Y LA QUEBRADA PATOYACU, ASOCIADOS AL KM 39+500 AL KM 90+000 DEL TRAMO I DEL OLEODUCTO NORPERUANO, EVALUADOS EN DICIEMBRE DE 2018 Y MARZO DE 2019.

SUBDIRECCIÓN DE SITIOS IMPACTADOS

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

2019

Profesionales que aportaron a este documento:



Firmado digitalmente por: CHAVARRY CASTRO Cristhian FIR 42931259 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05/06/2019 17:05:59-0500



Firmado digitalmente por: HUARACA QUISPE Lidia Prisila (FIR44170390)
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05/06/2019 17:12:36-0500



Firmado digitalmente por: MONTESINOS CALLE Victor FIR 41245736 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05/06/2019 17:11:30-0500



Firmado digitalmente por: CACERES ANGULO Edgar Luis (FIR43435018)
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05/06/2019 17:13:16-0500



Firmado digitalmente por: CONDOR ARCE Luis Alonzo FIR 42772059 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 05/06/2019 17:07:26-0500



Firmado digitalmente por: CHUQUISENGO PICON Llojan FIR 43052135 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 05/06/2019 17:17:40-0500



Firmado digitalmente por: ENEQUE PUICON Armando Martin (FIR16723309)
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 05/06/2019 17:43:13-0500

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES 1
3. OBJETIVOS 2
3.1 Objetivo general 2
3.2 Objetivos específicos 3
4. ÁREA DE ESTUDIO 3
5. METODOLOGÍA....5
5.1 Sedimento 5
5.1.1 Guías utilizadas para la evaluación 5
5.1.2 Ubicación de puntos....5
5.1.3 Parámetros y métodos de análisis....7
5.1.4 Equipos utilizados 8
5.1.5 Procesamiento de datos 8
5.1.5.1 Identificación de potenciales valores anómalos o *outliers*....8
5.1.5.2 Tratamiento de datos por debajo del límite de cuantificación o censurados 9
5.1.5.3 Análisis descriptivo de las variables 9
5.1.5.4 Remuestreo (*bootstrap*) 10
5.1.5.5 Determinación del nivel de fondo y nivel de referencia....10
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS 13
6.1 Hidrocarburos totales de petróleo y fracciones de hidrocarburos en sedimentos 13
6.2 Metales en sedimento 14
7. CONCLUSIONES....15
8. RECOMENDACIón 16
9. ANEXOS 16
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Derrames de petróleo crudo ocurridos entre las progresivas del Km 39+500 y Km 90+000 del Tramo I del ONP.....2
Tabla 5.1. Manuales de muestreo utilizados para el muestreo de sedimentos.....5
Tabla 5.2. Diseño de la distribución de los puntos de muestreo.....5
Tabla 5.3. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento 6
Tabla 5.4. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para sedimento.....7
Tabla 5.5. Equipos utilizados para el muestreo de sedimento.....8
Tabla 6.1. Resultados de niveles de fondo y niveles de referencia para TPH y fracciones de hidrocarburos en sedimentos 14
Tabla 6.2. Resultados de niveles de fondo y niveles de referencia para 18 metales en ríos y quebradas 15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Esquema de ubicación del área de estudio en el Tramo I del Oleoducto Norperuano 4
Figura 4.2. Diagrama de la dirección del flujo de la corriente de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu, que intersecan el Canal de flotación en el Tramo I del ONP. 4
Figura 5.1 Proceso de simulación de remuestreo (*Bootstrap)* 10

1. INTRODUCCIÓN

La calidad ambiental en el Canal de flotación[1] situado entre las progresivas Km 39+500 y Km 90+000 del Tramo I del Oleoducto Norperuano (en adelante, ONP) ha sido afectada por derrames de petróleo crudo ocurridos entre los años 2014 y 2018 donde se produjeron 17 emergencias ambientales afectando suelo, agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas, flora y fauna. Los contaminantes de interés, relacionados a estos eventos en la matriz de sedimento son los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y los metales por su potencial de afectación al agua, sedimentos, comunidades hidrobiológicas y otras matrices ambientales. El sedimento ha resultado ser una matriz sensible por la recurrencia y permanencia de TPH y metales pesados que se han registrado en diversos estudios. Petroperú[2] ha realizado trabajos de remediación ambiental en las zonas afectadas; sin embargo, la ausencia de estándares nacionales de calidad ambiental para sedimentos dificulta la evaluación de este componente.

Este informe tiene por objetivo determinar los niveles de fondo (NF) y niveles de referencia (NR) de TPH y metales en el sedimento aguas arriba de los ríos Cuninico, Urituyacu y Nucuray y la quebrada Patoyacu, asociadas al Canal de flotación entre las progresivas Km 39+500 y Km 90+000 del Tramo I del ONP.

Para determinar los NF y NR se aplicó un tratamiento estadístico univariado con el software ProUCL 5.0, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (U.S. EPA), sobre los resultados de laboratorio obtenidos en diciembre de 2018 y marzo de 2019; es decir, sobre las concentraciones de TPH y metales (mg/kg PS) obtenidos de 26 puntos muestreados, 8 puntos en cada uno de los ríos Cuninico, Urituyacu y Nucuray y 2 puntos en la quebrada Patoyacu.

Los resultados del presente informe servirán para determinar los niveles de fondo y referencia de hidrocarburos totales de petróleo y metales en sedimento de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu, asociados al Canal de flotación entre los Km 39+500 al Km 90+000 del Tramo I del ONP.

2. ANTECEDENTES

Entre las progresivas del Km 39+500 y Km 90+000 del Tramo I del ONP, han ocurrido 10 derrames de petróleo crudo durante el periodo del 2014 al 2018[3], los cuales se detallan en la siguiente tabla:

[1] Según Petroperú– Petróleos del Perú S.A, 2019, el Canal de flotación es una instalación para transportar petróleo crudo mediante ductos, y confinar el crudo en caso de derrames. Consultado en el siguiente link: https://www.petroperu.com.pe/socio-ambiental/principal/gestion-ambiental/remediacion-ambiental-del-oleoducto-norperuano-onp-preguntas-frecuentes/.

[2] Petróleos del Perú - Petroperú S.A: Empresa de propiedad del Estado peruano y de derecho privado dedicada al transporte, refinación, distribución y comercialización de combustibles y otros productos derivados del petróleo.

[3] Según Memorándum N.° 3199-2018-OEFA/DSEM, y Petroperú S.A. Consultado en el siguiente link: https://www.petroperu.com.pe/socio-ambiental/principal/gestion-ambiental/remediacion-ambiental-del-oleoducto-norperuano-onp-preguntas-frecuentes/. Consultado el 27 de marzo de 2019.

Tabla 2.1. Derrames de petróleo crudo ocurridos entre las progresivas del Km 39+500 y Km 90+000 del Tramo I del ONP

N.°	Fecha	Ubicación	Coordenadas UTM WGS84 (Zona 18M)		Barriles	Área (m^2)
			Este	Norte		
1	30/06/2014	Tramo I - Km 41+833	467987	9474532	2358	87000
2	21/08/2016	Tramo I - Km 55+500	455912	9468096	2332	9213
3	21/08/2016	Tramo I - Km 54+200	456993	9468727	1710	9214
4	25/09/2016	Tramo I - Km 67+375	447305	9460217	1157	6640
5	14/10/2016	Tramo I - Km 82+460	435488	9451710	800	1418
6	22/10/2016	Tramo I - Km 53+310	457855	9469187	62	2444
7	11/07/2017	Tramo I - Km 59+127	452770	9466394	31	11000
8	15/09/2017	Tramo I - Km 51+570	459188	9469883	900	10000
9	15/09/2017	Tramo I - Km 51+767	459188	9469883		
10	11/03/2018	Tramo I - Km 87+887	430372	9449938	43	4100

Fuente: Memorándum N.° 3199-2018-OEFA/DSEM

Mediante Memorando N.° 3199-2018-OEFA/DSEM, la Dirección de Supervisión en Energía y Minería (DSEM) solicitó a la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) realizar una «Evaluación de la calidad ambiental en el canal de flotación del sector comprendido entre el Km 40+000 al Km 90+000 del Tramo I del ONP, como resultado del cual se determinen los niveles de fondo[4] de sus componentes ambientales». Asimismo, la DEAM mediante Memorando N.° 920-2018-OEFA/DEAM responde atender la solicitud y realizar una evaluación ambiental en la zona de estudio.

La metodología empleada para la determinación de niveles de fondo y referencia se aplicó el *software* ProUCL[5] propuesto por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Los Estados Unidos de América que tiene más de diez años de vigencia y actualmente está disponible en su quinta versión.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los niveles de fondo (NF) y niveles de referencia (NR) de TPH y metales en el sedimento aguas arriba de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu, asociados al Canal de flotación entre las progresivas Km 39+500 y Km 90+000 del Tramo I del ONP.

[4] Tomando como referencia la definición del artículo 4° del Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM, el nivel de fondo consiste en la «concentración de origen natural de una o más sustancias químicas presentes en los componentes ambientales, que puede incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio potencialmente contaminado o sitio contaminado».

[5] *Environmental Protection Agency* (EPA) https://www.epa.gov/land-research/proucl-software.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los niveles de fondo (NF) y niveles de referencia (NR) de TPH (C_{10}-C_{40}), fracción de hidrocarburos F1 (C_6-C_{10}), fracción de hidrocarburos F2 (C_{10}-C_{28}), fracción de hidrocarburos F3 (C_{28}-C_{40})[6] en el sedimento de los ríos Cuninico, Urituyacu y Nucuray y, la quebrada Patoyacu.
- Determinar los niveles de fondo (NF) y niveles de referencia (NR) de 32 metales[7] en el sedimento de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende los ríos y quebrada ubicadas en el ámbito de influencia del Tramo I del ONP entre el Km 39+500 al Km 90+000; es decir, los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu, hasta aproximadamente 15,3 km aguas arriba del Canal de flotación, en los distritos Urarinas y Lagunas, provincias Loreto y Alto Amazonas en el departamento Loreto.

Los ríos y quebrada evaluados intersecan el Canal de flotación y tributan sus aguas al río Marañón, formando parte del ámbito de la cuenca del Marañón. Cabe mencionar que estos cuerpos de agua presentan dinámica similar al Canal de flotación, el cual se ha configurado como un ecosistema[8] estacionalmente inundable con características típicas de cuerpos de agua amazónicos que tiene interacción con los cuerpos de agua mencionados. Asimismo, el área de estudio se ubica dentro de la zona de amortiguamiento del Área Natural Protegida Reserva Nacional Pacaya Samiria y del sitio RAMSAR[9] Abanico del Pastaza.

En la Figura 4.1 se muestra el Canal de flotación en el Tramo I del ONP y los ríos y quebrada evaluadas, y la ubicación del sitio RAMSAR Abanico del Pastaza y áreas naturales protegidas.

---

6 El método de análisis de laboratorio empleado para determinar TPH y fracciones de hidrocarburos F1, F2 y F3 fue EPA METHOD 8015 C, Rev. 3 2007.

7 De los 32 metales, 31 fueron determinados mediante el método EPA 3050 B:1996/ EPA 6010 B: 1996 (plata, aluminio, arsénico, bario, berilio, calcio, cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, potasio, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio, níquel, plomo, antimonio, selenio, talio, vanadio, zinc, boro, bismuto, litio, fósforo, silicio, estaño, estroncio y titanio); y el mercurio mediante el método EPA 7471 B, Rev 2, February 2007.

8 Definición de ecosistema «Complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional». Tomado de la «Metodología para la Estimación del Nivel de Riesgo a la Salud y al Ambiente de Sitios Impactados» (Anexo único) de la Directiva para la Identificación de Sitios Impactados por Actividades de Hidrocarburos a cargo del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo Nº 028-2017-OEFA/CD.

9 Un sitio RAMSAR representa a humedales de importancia internacional para la conservación de la biodiversidad establecida por la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). Esta convención es un tratado intergubernamental cuya misión es «la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales y la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo». Consultado el 03 de abril de 2019 en: http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/63CDE791FF2EB4CD05257C630051708F/$FILE/1_pdfsam_Manual_convenci%C3%B3n_de_Ramsar_2013.pdf

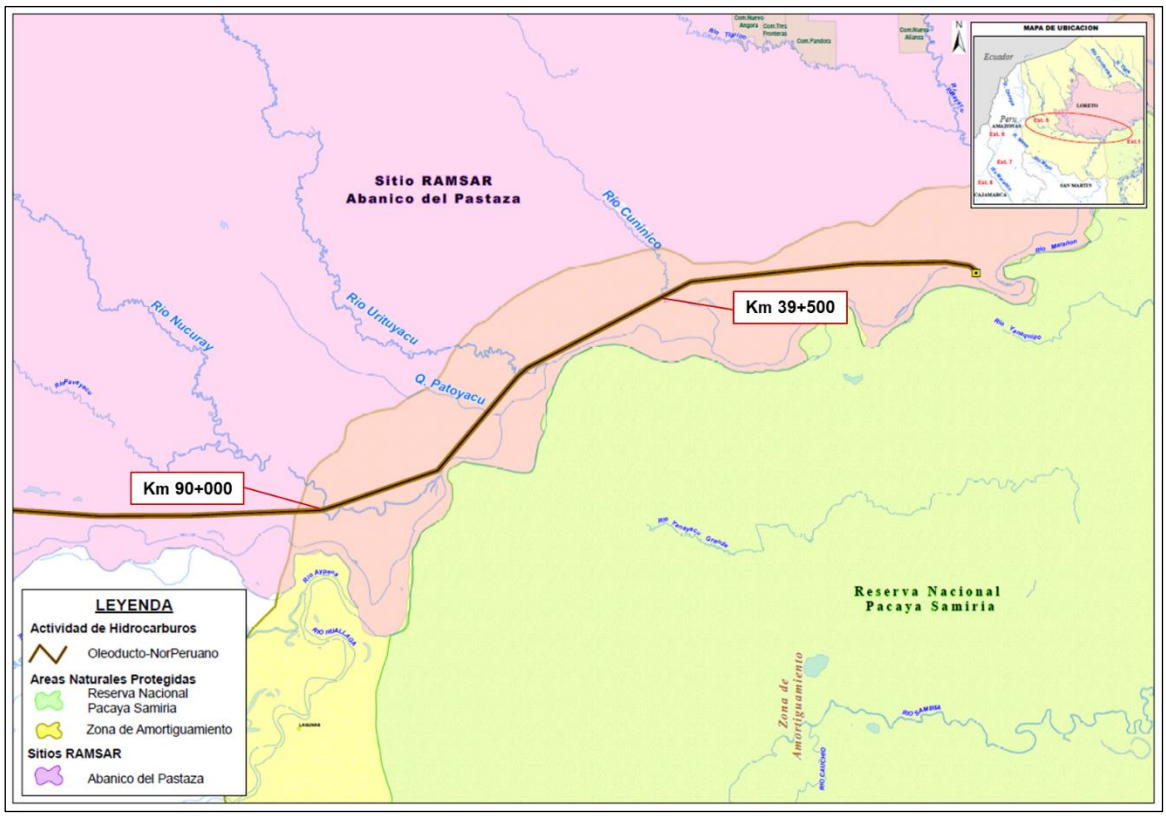

Figura 4.1. Esquema de ubicación del área de estudio en el Tramo I del Oleoducto Norperuano

Los puntos muestreados para la determinación de los niveles de fondo y niveles de referencia corresponden a los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu. Los puntos referidos se ubicaron aguas arriba con respecto al flujo de la corriente y la intersección con el Canal de flotación (Figura 4.2).

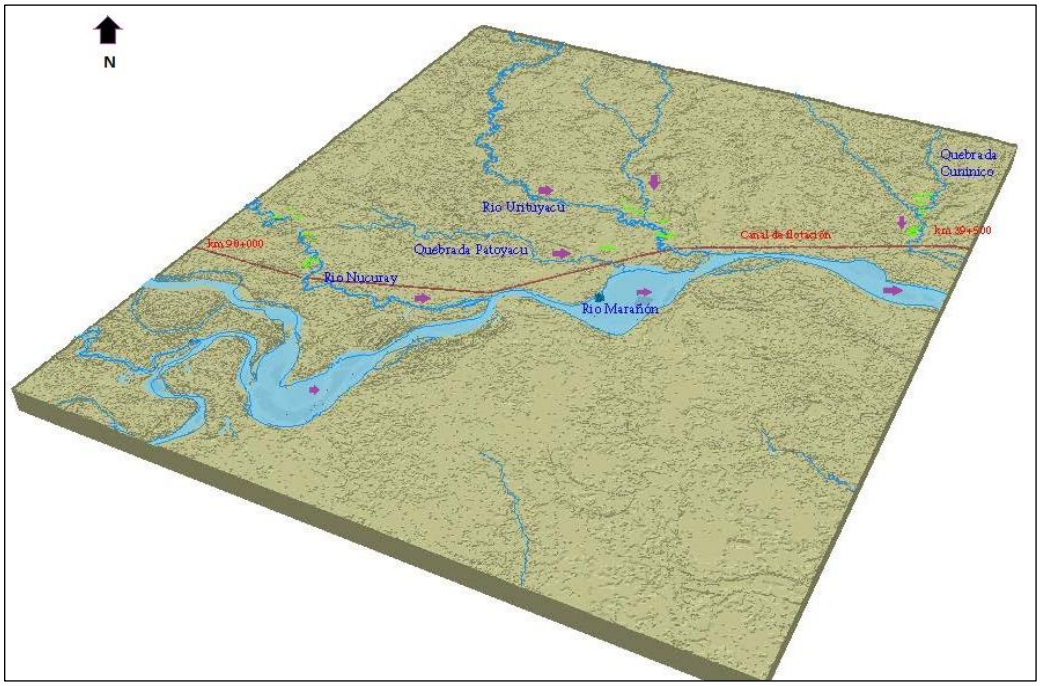

Figura 4.2. Diagrama de la dirección del flujo de la corriente de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu, que intersecan el Canal de flotación en el Tramo I del ONP.

5. METODOLOGÍA

5.1 Sedimento

5.1.1 Guías utilizadas para la evaluación

Dado a que aún no se cuenta con un protocolo nacional para la toma de muestras de sedimentos de agua continental se utilizaron metodologías internacionales de México y Estados Unidos. Las referencias utilizadas se detallan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Manuales de muestreo utilizados para el muestreo de sedimentos

Nombre	Sección/capítulo	País	Institución	Año de aprobación
Manual técnico Métodos para colección, almacenamiento y manipulación de sedimento para análisis químicos y toxicológicos de la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (*Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual*, 2001)	Todo	EEUU	EPA	2001
Procedimiento de Operación Estándar – *Standard Operating Procedure* (SOP). #2016, Muestreo de Sedimento, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos[10]	Todo	EEUU	EPA	2003

5.1.2 Ubicación de puntos

Se evaluaron 26 puntos de muestreo en sedimento, de los parámetros de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), fracciones de hidrocarburos y metales, distribuidos aguas arriba de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, quebrada Patoyacu antes de la intersección con el Canal de flotación. Los criterios técnicos para ubicar los puntos de muestreo son descritos en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Diseño de la distribución de los puntos de muestreo

Tipo de distribución	Descripción	Cuerpo de agua	Cantidad de puntos de muestreo, aguas arriba del Canal de flotación	Total de puntos de muestreo
Muestreo sistemático estratificado	Primera evaluación (diciembre 2018) Aproximadamente cada 500 m entre un punto y otro	Río Cuninico	3	26
		Río Urituyacu	3	
		Río Nucuray	3	
		Quebrada Patoyacu	2	
	Segunda evaluación (marzo 2019) Aproximadamente cada 2 km entre un punto y otro	Río Cuninico	5	
		Río Urituyacu	5	
		Río Nucuray	5	

[10] *Environmental Protection Agency* (EPA). *Standard Operating Procedure-SOP* #2016, *Sediment Sampling* https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/r8-src_eh-02.pdf.

En diciembre de 2018 se evaluaron los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu, en los que se ubicaron 3 puntos de muestreo de sedimento en cada río y 2 puntos en dicha quebrada, aguas arriba con respecto al flujo de la corriente y la intersección con el Canal de flotación, estos puntos de muestreo fueron ubicados aproximadamente a cada 500 m hasta una distancia aproximada de 1,74 Km (distancias estimadas siguiendo el cauce del río o quebrada).

En marzo de 2019 se realizó un muestreo complementario en los ríos Cuninico, Urituyacu y Nucuray, donde se ubicaron 5 puntos de muestreo de sedimento en cada cuerpo de agua, aguas arriba con respecto al flujo de la corriente y a la intersección con el Canal de flotación; estos puntos de muestreo fueron ubicados aproximadamente cada 2 km hasta una distancia de 15,3 km (distancias estimadas siguiendo el cauce del río o quebrada).

La descripción de los puntos de muestreo de sedimento se presenta en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento

N.°	Etapa	Cuerpo de agua	Código de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18M		Descripción
				Este	Norte	
1	Segunda evaluación	Río Cuninico	QCuni-SED-ONP-11	469741	9482248	Río Cuninico, aproximadamente a 13,9 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
2			QCuni-SED-ONP-10	468971	9481564	Río Cuninico, aproximadamente a 12 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
3			QCuni-SED-ONP-9	469388	9480707	Río Cuninico, aproximadamente a 10 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
4			QCuni-SED-ONP-8	469943	9479546	Río Cuninico, aproximadamente a 8,2 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
5			QCuni-SED-ONP-7	470211	9478542	Río Cuninico, aproximadamente a 6,2 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
6	Primera evaluación		Qcuni-SED-ONP-1	470142	9476489	Río Cuninico, aproximadamente a 1250 m aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
7			Qcuni-SED-ONP-2	469865	9476072	Río Cuninico, aproximadamente a 750 m aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
8			Qcuni-SED-ONP-3	470029	9475671	Río Cuninico, aproximadamente a 250 m aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
9	Segunda evaluación	Río Urituyacu	RUri-SED-ONP-11	446636	9469437	Río Urituyacu, aproximadamente a 15,3 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
10			RUri-SED-ONP-10	447392	9468523	Río Urituyacu, aproximadamente a 13 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
11			RUri-SED-ONP-09	448406	9468523	Río Urituyacu, aproximadamente a 10,4 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
12			RUri-SED-ONP-08	449466	9468618	Río Urituyacu, aproximadamente a 8,3 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.

N.°	Etapa	Cuerpo de agua	Código de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18M		Descripción
				Este	Norte	
13			RUri-SED-ONP-07	450841	9468311	Río Urituyacu, aproximadamente a 7 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
14	Primera evaluación		RUri-SED-ONP-01	451399	9466046	Río Urituyacu, aproximadamente a 1,74 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
15			RUri-SED-ONP-02	451959	9466110	Río Urituyacu, aproximadamente a 830 m aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
16			RUri-SED-ONP-03	452380	9466452	Río Urituyacu, aproximadamente a 300 m aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
17	Primera evaluación	Quebrada Patoyacu	RPatu-SED-ONP-01	448314	9462121	Quebrada Patoyacu, aproximadamente a 1000 m aguas arriba del canal de flotación.
18			RPatu-SED-ONP-02	448799	9462347	Quebrada Patoyacu, aproximadamente a 300 m aguas arriba del Canal de flotación.
19	Segunda evaluación	Río Nucuray	RNuc-SED-ONP-11	421701	9455647	Río Nucuray, aproximadamente a 14,50 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
20			RNuc-SED-ONP-10	421696	9453964	Río Nucuray, aproximadamente a 12,2 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
21			RNuc-SED-ONP-9	423239	9454722	Río Nucuray, aproximadamente a 10 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
22			RNuc-SED-ONP-8	425357	9453046	Río Nucuray, aproximadamente a 7 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
23			RNuc-SED-ONP-7	426400	9452585	Río Nucuray, aproximadamente a 5 km aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
24	Primera evaluación		RNuc-SED-ONP-1	428053	9450280	Río Nucuray, aproximadamente a 1250 m aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
25			RNuc-SED-ONP-2	427926	9449817	Río Nucuray, aproximadamente a 750 m aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.
26			RNuc-SED-ONP-3	427836	9449327	Río Nucuray, aproximadamente a 250 m aguas arriba del cruce con el Canal de flotación, del Tramo I del ONP.

5.1.3 Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados fueron seleccionados de acuerdo con la actividad vinculada al transporte de petróleo crudo por ducto. Asimismo, los métodos de análisis de laboratorio acreditados ante el Instituto Nacional de Calidad (Inacal) se presentan en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para sedimento

N.°	Parámetro	Unidad	Método de análisis	Laboratorio de ensayo acreditado
1	Fracción de hidrocarburos F1 (C_6-C_{10}) Fracción de hidrocarburos F2 (C_{10}-C_{28}) Fracción de hidrocarburos F3 (C_{28}-C_{40})	mg/kg PS	EPA METHOD 8015 C, Rev. 3 2007	ALS LS PERÚ S.A.C.
2	Hidrocarburos Totales de Petróleo - TPH (C_{10}-C_{40})			

N.°	Parámetro	Unidad	Método de análisis	Laboratorio de ensayo acreditado
3	Metales incluido mercurio	mg/kg PS	EPA 3050 B:1996 / EPA 6010 B:1996, para mercurio: EPA 7471 B Rev. 2, February 2007 (ICP-OES)	
4	Cromo hexavalente	mg/kg PS	EPA 3060 Revisión1 December 1996/EPA 7199 Revisión 0 December 1996. (Validado). 2017	

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio de ALS LS PERÚ S.A.C, verificables en el Reporte de resultados N.° 147-2019-SSIM
PS: peso seco

5.1.4 Equipos utilizados

Los equipos utilizados durante el muestreo de sedimentos *in situ* se detallan en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Equipos utilizados para el muestreo de sedimento

N.°	Equipo	Marca	Modelo	Serie
1	Barreno	AMS	-	BARRE-OEFA-11
2	Barreno	AMS	-	BARRE-OEFA-04
3	Barreno	AMS	-	BARRE-OEFA-14
4	Barreno tipo espada	S/M*	-	-
5	Draga	S/M*	Van Veen	DVV311155
6	Draga	S/M*	Van Veen	-
7	Draga	S/M*	Van Veen	DVV131704
8	Cámara fotográfica digital	Canon	Powershot D30BL	82051001005
9	Equipo de posicionamiento GPS	Garmin	Montana 680	4HU005008

*S/M: sin marca

5.1.5 Procesamiento de datos

El cálculo de las concentraciones de los niveles de fondo y niveles de referencia fue realizada por un tratamiento estadístico mediante el software ProUCL 5.0 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA) y los cálculos complementarios fueron realizados con el software libre «R» (Helsel, 2013).

El tratamiento estadístico fue realizado para: a) detectar y evaluar la presencia de valores anómalos (*outliers*) dentro de la serie de datos, para evitar que estos afecten negativamente la determinación de los valores de fondo y referencia, b) adoptar criterios para la identificación e imputación o reemplazo de valores censurados (valores por debajo del límite de cuantificación del método de análisis de laboratorio) dentro de la serie de datos.

El tratamiento estadístico fue realizado con una población muestral de 26 valores de concentración de TPH, fracciones de hidrocarburos, metales y cromo hexavalente procedentes del mismo número de puntos de muestreo. El procedimiento se detalla a continuación:

5.1.5.1 Identificación de potenciales valores anómalos o *outliers*

Los valores anómalos o *outliers*, según la Agencia de Protección Ambiental de Los Estados Unidos de América (2006) son mediciones del conjunto de una muestra que son extremadamente grandes o pequeños que no pudieran tener una relación con el resto de los datos recogidos. Estos valores anómalos de un conjunto de datos distorsionan las pruebas estadísticas utilizadas para la determinación de niveles de fondo y referencia (EPA, 2013), asimismo su presencia tiende a interferir con la distribución normalidad de la serie de datos.

Con el fin de evitar la presencia de valores anómalos con concentraciones elevadas que no tengan relación con el resto de los datos recogidos, se realizó un tratamiento estadístico de los resultados anómalos respecto al conjunto de la base de datos analíticos, desde un punto de vista univariante, es decir un análisis descriptivo de cada una de las variables evaluadas.

Los valores atípicos potenciales identificados fueron sometidos a una prueba estadística que permitió determinar de manera objetiva si se trataba efectivamente de este tipo de valores. Este proceso es realizado por paquetes estadísticos del software libre «R», que se detallan a continuación:

(1) El paquete «*outliers*» aplica la prueba de Dixon (1953) que permite la detección de los valores anómalos en una serie de datos.

(2) El paquete «*envstats*» aplica la prueba de Rosner (1975), usado para la identificación de valores anómalos

La prueba de Dixon (1953) se aplica para tamaños de muestra menores a 25. En cambio, la prueba de Rosner (1975) se aplica para tamaños de muestra mayores a iguales a 25.

A fin de evitar la presencia de valores de concentraciones elevadas que pudieran afectar el análisis, se realizó su identificación exploratoria mediante gráficos de caja y bigotes (ISO 19258).

Cuando las pruebas de Dixon y Rosner no detectan valores anómalos o *outliers*; se utiliza el método basado en la media para detectar los valores referidos (Alberti, 2018)

5.1.5.2 Tratamiento de datos por debajo del límite de cuantificación o censurados

Los valores no cuantificados por el método de análisis de laboratorio (valores desconocidos debido a que se encuentra entre cero y su límite de cuantificación) fueron tratados estadísticamente con el método de Kaplan y Meier (1958), un método recomendado por la U. S. EPA (2013), que se basa en la sustitución de los resultados de los valores no detectados con valores que coincidan con la distribución del resto del conjunto de datos, dejando de lado los métodos tradicionales de sustitución por el valor del límite de cuantificación o la mitad del mismo.

5.1.5.3 Análisis descriptivo de las variables

Una vez realizada la detección de potenciales valores anómalos y abordar el conjunto de datos con resultados por debajo del límite de cuantificación se analizó el comportamiento de las variables en forma individual mediante un tratamiento estadístico univariante para obtener la media y el percentil 95.

Este tratamiento estadístico univariante consiste en un análisis descriptivo de cada una de las variables, mediante la estimación de estadísticos de tendencia central, distribución de frecuencias y estadísticos de dispersión.

Asimismo, se realizaron gráficas de cajas, de histogramas y gráficos de probabilidad, los cuales se describen a continuación:

- Gráfico de cajas y bigotes*:* Para mostrar las características de una muestra de datos. Esta consta de una parte rectangular que se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior, cubriendo la mitad central de la muestra, donde la línea del centro de la caja muestra la mediana. Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores mínimos y máximos en la muestra. Los puntos más alejados que se encuentran a más de 1,5 veces el rango intercuartílico por arriba o por debajo de la caja se grafican separadamente de los bigotes, los que se muestran en forma de asteriscos.

- Histograma: Esta gráfica despliega las frecuencias en cada intervalo para los parámetros evaluados.

- Gráfico de probabilidad normal (o gráfico Q-Q normal): Para mostrar la distribución de probabilidad normal para cada parámetro evaluado. Si los datos provienen de una distribución normal, los puntos quedan aproximadamente a lo largo de una línea recta de referencia.

5.1.5.4 Remuestreo (*bootstrap*)

Para casos que exista un porcentaje superior al 50% y hasta el 80% de datos censurados, se sugiere un tratamiento especial (Helsel, 2011); y a la vez, si las distribuciones no son discernibles, se puede hacer uso del remuestreo (*bootstrap*) para identificar el tipo de distribución, el cual es formulada y descrita por Efron (1979), siendo una técnica de simulación que reutiliza los datos observados del cual se extraen repetidas muestras, es por ese motivo que es considerado como una técnica de computación intensiva (Noreen, 1989). Cabe precisar, que por encima del 80 % de datos censurados, no se puede identificar distribuciones y por lo tanto no se puede realizar tratamientos estadísticos (Helsel, 2011).

El procedimiento *bootstrap* es útil para la descripción de la distribución muestral de aquellos estimadores con propiedades muestrales desconocidas o difícilmente obtenibles por medios analíticos. La Figura 5.1, muestra el proceso del *bootstrap* (Jáuregui y Oliden, 2004).

Cullen y Frey (1999), proponen hacer uso de una gráfica de asimetría y curtosis basada en bootstrap para aproximar la distribución empírica de una muestra.

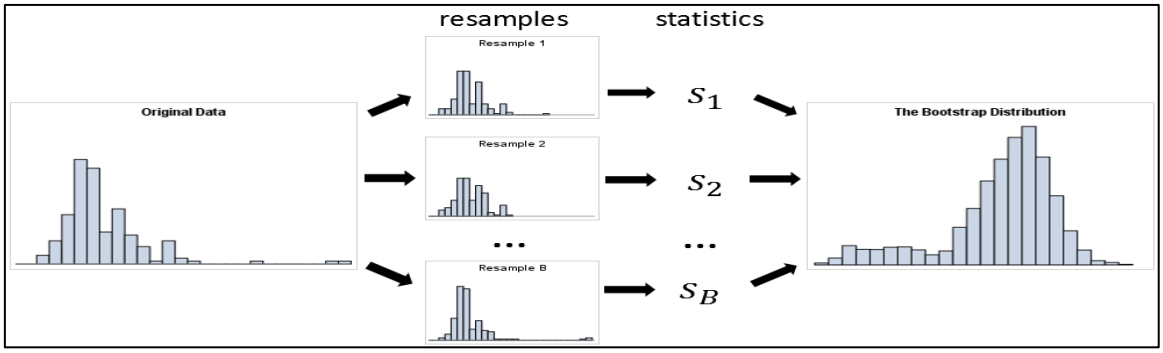

Figura 5.1 Proceso de simulación de remuestreo (*Bootstrap)*
Recuperado de: *https://blogs.sas.com/content/iml/2018/12/12/essential-guide-bootstrapping-sas.html#prettyPhoto*

5.1.5.5 Determinación del nivel de fondo y nivel de referencia

En el Decreto Supremo N.° 01-2017-MINAM que aprueba los criterios para la gestión de sitios contaminados indica en el Artículo 4, definición 4.15 se define como niveles de fondo a la concentración de origen natural de una o más sustancias químicas presentes en los componentes ambientales, que puede incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio potencialmente contaminado o sitio contaminado.

Al respecto, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2002) define dos tipos de nivel de fondo, el primero corresponde al fondo de origen natural definido como las sustancias presentes en el medio ambiente que no han sido influenciadas por la actividad humana. El segundo corresponde al fondo antropogénico el cual se define como las sustancias naturales y humanas presentes en el medio ambiente como resultado de actividades humanas no específicamente relacionadas con el sitio en cuestión. En ese sentido, es posible determinar un nivel de fondo en áreas asociada a una actividad antropogénica.

El establecimiento de un nivel de fondo para sedimentos, parte de la importancia de los sedimentos como un sistema abierto, dinámico y bioquímicamente heterogéneo (Sunbdy, 1991) formado por la acumulación de partículas minerales y orgánicas de diversos orígenes. Típicamente se forman por acumulación de partículas minerales y materia orgánica de origen biogénico, y materia orgánica en diversos estados de descomposición (Knezovich *et al*., 1987; ATSM 1994b). Los contaminantes menos polares (como los hidrocarburos), los metales pesados y los elementos trazas más tóxicos, muestran una gran afinidad por las partículas suspendidas y, por lo tanto, son secuestrados de la columna de agua e incorporados en el sedimento (Hart'l, 2010).

El nivel de fondo fue calculado con base a resultados de muestras tomadas en zonas no afectadas por los derrames de crudo ocurridos en el Canal de flotación, específicamente en los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu, aguas arriba con respecto a la intersección con el Canal de flotación. Estos ríos y quebrada presentan dinámica similar al Canal de flotación, el cual se ha configurado como un ecosistema[11] estacionalmente inundable con características típicas de cuerpos de agua amazónicos que tiene interacción con los cuerpos de agua mencionados. Además, este ambiente se encuentra en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Pacaya Samiria y en el Abanico del Pastaza[12] reconocido como sitio RAMSAR[13] más grande de toda la Amazonía, que consta de un complejo de bosques inundados y aguajales que albergan gran biodiversidad.

Para la determinación de niveles de fondo y niveles de referencia se utilizó el software estadístico *Pro UCL 5.1* de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (U.S. EPA).

Esta metodología incluye dos etapas, que se describen a continuación:

Nivel de fondo - NF

Para su determinación se empleó un intervalo donde está incluido el valor verdadero del estimador en estudio, considerando la cota superior[14] de dicho intervalo para la media. Esta cota debe garantizar con un elevado grado de confianza (este fue establecido en 95 %), y cuando el conjunto de datos sigue una distribución normal, la expresión de esta cota permite definir la media para cada variable evaluado, la cual viene dada por la U.S. EPA, 2013 según la siguiente expresión:

$$C_M = \bar{x} + t_{\alpha,n-1}\, s/\sqrt{n} \ldots\ldots\ldots (1)$$

Donde:

C_M : Cota superior de la media de n datos

[11] Definición de ecosistema «Complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional». Tomado de la «Metodología para la Estimación del Nivel de Riesgo a la Salud y al Ambiente de Sitios Impactados» (Anexo único) de la Directiva para la Identificación de Sitios Impactados por Actividades de Hidrocarburos a cargo del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo Nº 028-2017-OEFA/CD.

[12] El Abanico del Pastaza fue declarado como sitio RAMSAR en junio de 2002. Alberga especies consideradas en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) y 17 especies que se encuentran en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Disponible en: https://www.ramsar.org/es/humedal/peru?site=28854#map-leaflet y http://www.wwf.org.pe/?200118/Pastaza#.

[13] Sitio RAMSAR es una clasificación determinada por la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) para definir espacios de gran importancia para la conservación, considera a humedales de importancia internacional donde se concentra y alberga una extraordinaria biodiversidad. Disponible en: https://www.ramsar.org/es.

[14] Es el límite superior de un intervalo de confianza de un parámetro de interés, por ejemplo, la cota superior de la media.

n : Tamaño de la muestra
$\bar{x}$: Media aritmética de la muestra de n datos
S : Desviación estándar de la muestra de n datos
$t_{\alpha,n-1}$: Caracterizan la situación real del medio caracterizan la situación real del medio percentil 100(1- α)-ésimo de la distribución t-*Student* de n-1 grados de libertad.

Algunos conjuntos de datos mostraron a una distribución gamma típica, en este caso, el valor de la cota superior (límite superior del intervalo de confianza de la media) se determinó con la expresión dada para n ≤ 50 (U.S. EPA, 2013):

$$C_M = \frac{2nk\bar{x}}{X^2_{2nk}(\alpha)} \ldots\ldots\ldots (3)$$

Donde:

C_M : Cota superior de la media
n : Tamaño de la muestra
k : Parámetro de forma de la distribución Gamma
$\bar{x}$: Media aritmética de la muestra de n datos
X^2_{2nk} : Estadístico Chi cuadrado con 2nk grados de libertad
α : Nivel de significancia

Por otro lado, para conjuntos de datos que no se ajustaron a ninguno de los tipos de distribución vistos anteriormente, se realizó una estimación no paramétrica de la cota superior de la media a partir del conjunto de datos disponibles.

Nivel de referencia - NR (percentil 95)

Se denomina valor de referencia como aquel valor que su superación por unidad muestral de la población actual caracterizada sea poco probable y que, por tanto, si no ha habido modificaciones de las condiciones de muestreo, sea también poco probable su superación obtenida posteriormente (De Miguel *et al*., 2002).

La cota superior del percentil 95 % con un 95 % de nivel de confianza representa el valor por debajo del cual se encuentra el 95% de los datos de la población con un 95% de nivel de confianza (U.S. EPA, 2013). La expresión de esta cota dependerá del tipo de distribución a la que se ajusta el conjunto de datos. Así se tiene que para una distribución normal la expresión es la siguiente:

$$C_p = \bar{x} + K_{(n,\alpha,p)} \times s \ldots\ldots\ldots (4)$$

Donde:

C_p : Cota superior del percentil p-ésimo.
$\bar{x}$: Media aritmética de la muestra de n datos.
S : Desviación estándar de la muestra de n datos.
$K_{(n,\alpha,p)}$: Factor de tolerancia para la determinación de la cota superior del percentil p-ésimo, a partir de una muestra de n datos, con un nivel de confianza de 1-α, basada en la distribución t-Student (Hahn y Meeker, 1991).

Asimismo, para un conjunto de datos ajustado a una distribución tipo gamma, que transformando los datos según $Y=X^{1/4}$, esta se aproxima a una distribución normal, presenta la siguiente expresión (U.S. EPA, 2013):

$$C_p = (\bar{y} + K_{(n,\alpha,p)} \times s_y)^4 \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

$\bar{y}$: Media aritmética de datos transformados para distribución gamma.

s_y : Desviación estándar de n datos transformados para distribución gamma.

En el caso de un conjunto de datos que no se ajustó a alguna distribución conocida, se emplearon métodos no paramétricos.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Las concentraciones de TPH y metales en el sedimento tomados aguas arriba de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu, asociados a las progresivas Km 39+500 y Km 90+000 del Tramo I del ONP, fueron analizadas aplicando los métodos estadísticos, a fin de determinar los niveles de fondo (NF) y niveles de referencia (NR).

Los resultados del análisis estadístico se muestran de manera detallada mediante tablas de resumen en el Anexo 1 y representaciones en figuras en el Anexo 2. En las tablas de resumen se presentan los datos estadísticos más característicos de la población o conjunto general de datos tales como la media, la mediana, la desviación estándar, valores mínimos y máximos, coeficiente de variación y percentil 95; además se especifica el tipo de distribución poblacional (normal, gamma) o no paramétrica. Además, se incluyeron los valores anómalos o *outliers* colectados para cada conjunto de datos, y finalmente se presentan los niveles de fondo y referencia para TPH, fracción F2, fracción F3 y metales.

6.1 Hidrocarburos totales de petróleo y fracciones de hidrocarburos en sedimentos

Para el análisis estadístico se consideró los parámetros hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y fracciones de hidrocarburos F2 y F3. La fracción F1 no fue incluida en el análisis estadístico debido a que el 100 % de valores registrados fueron menores al límite de cuantificación analítico (<1,9 mg/kg). Asimismo, los porcentajes de los valores menores al límite de cuantificación analítico fueron: 53,8 % para TPH (<13,3 mg/kg); 61,5 % para F2 (<6,8 mg/kg) y 53,8 % para F3 (<6,8 mg/kg).

Los niveles de fondo y referencia para TPH y fracciones de hidrocarburos F2 y F3 en los sedimentos son representados en los histogramas del Anexo 2 y mostrados en la Tabla 6.1.

Para los parámetros TPH[15] y fracción de hidrocarburos F2[16], se identificó valores anómalos o *outliers* mediante el método basado en la media según el *ítem* 5.1.5.1 y presentados en el Anexo 1, luego se realizó un tratamiento especial para la identificación de la distribución a través del reemuestreo (*bootstrap*); debido a que presentaron un porcentaje superior al 50% e inferior al 80% de datos censurados y no presentaron distribuciones discernibles, de acuerdo al *ítem* 5.1.5.4; asimismo, los histogramas y gráficos de normalidad son detallados

[15] El parámetro TPH, presentó 14 valores censurados de 26 datos, representado un 53,8 % de valores censurados.

[16] El parámetro fracción de hidrocarburos F2, presentó 16 valores censurados de 26 datos, representado un 61,5 % de valores censurados.

en el Anexo 2, seguidamente se determinó los niveles de fondo y de referencia acorde al *ítem* 5.1.5.5.

Para la fracción de hidrocarburos F3[17], se estimó sus estadísticas descriptivas media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación mediante el método de Kaplan-Meier según el *ítem* 5.1.5.2, presentando 14 valores censurados de los cuales 12 son valores anómalos o *outliers* determinados según el *ítem* 5.1.5.1, luego se identificó que su distribución es normal mediante pruebas estadísticas Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y el diagrama Q-Q de normalidad presentados en el Anexo 1 y 2; y la frecuencia de datos en los histogramas son detallados en el Anexo 2, seguidamente se determinó los niveles de fondo y de referencia acorde al *ítem* 5.1.5.5.

Del análisis descrito en los párrafos precedentes se ha obtenido que para TPH el nivel de fondo en sedimentos es de 45,46 mg/kg, que representa el valor más frecuente que se espera obtener en un muestreo de sedimentos de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, quebrada Patoyacu asociados a las progresivas Km 39+500 y Km 90+000 del Tramo I del ONP. El nivel de referencia en los sedimentos es de 101,1 mg/kg, que representa la cota superior del percentil 95 % con un 95 % de nivel de confianza.

En cuanto a las fracciones de hidrocarburos obtenidas en los sedimentos se tuvo que la fracción F2 presentó como nivel de fondo 14,79 mg/kg y su nivel de referencia 30,28 mg/kg; mientras que la fracción F3 valores de nivel de fondo 48,97 mg/kg y nivel de referencia de 89,03 mg/kg.

Tabla 6.1. Resultados de niveles de fondo y niveles de referencia para TPH y fracciones de hidrocarburos en sedimentos

Parámetros	Ríos y quebrada	
	Nivel de fondo (mg/kg) PS	Nivel de referencia (mg/kg) PS
Compuestos orgánicos		
TPH(C_{10}-C_{40})	45,46	101,1
Fracción 2 (C_{10}-C_{28})	14,79	30,28
Fracción 3 (C_{28}-C_{40})	48,97	89,03

6.2 Metales en sedimento

En el análisis estadístico, se determinó que los metales aluminio, bario, calcio, cobre, cromo, estroncio, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, níquel, potasio, silicio, sodio, titanio, vanadio, zinc y cobalto, no presentaron valores censurados y según el *ítem* 5.1.5.1, se identificó los valores anómalos o *outliers*, los cuales son detallados en el Anexo 1. Asimismo, se identificó su distribución mediante pruebas estadísticas Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y el diagrama Q-Q presentados en el Anexo 1 y 2; y la frecuencia de datos en los histogramas son detallados en el Anexo 2, seguidamente se determinó los niveles de fondo y de referencia de acuerdo al *ítem* 5.1.5.5 en los 18 metales referidos.

Los resultados de niveles de fondo y referencia se presentan en la tabla 6.2.

[17] Para el parámetro fracción de hidrocarburos F3, se presentó 53,8 % de datos censurados; y a diferencia de los parámetros TPH y fracción de hidrocarburos F2, su distribución de la fracción de hidrocarburos F3 fue discernible (normal al retirar los *outliers*), por lo que no sé realizó el método *bootstrap*.

Tabla 6.2. Resultados de niveles de fondo y niveles de referencia para 18 metales en ríos y quebrada

N.°	Parámetros	Ríos y quebrada	
		Nivel de fondo (mg/kg) PS	Nivel de referencia (mg/kg) PS
1	Aluminio	20356	35595
2	Bario	211,9	453,1
3	Calcio	3256	4123
4	Cobalto	15,6	24,77
5	Cobre	22,98	41,54
6	Cromo	26,44	37,23
7	Estroncio	56,92	79,54
8	Fósforo	675,3	1003
9	Hierro	26460	38418
10	Magnesio	3295	4360
11	Manganeso	727,7	1402
12	Níquel	22,08	33,96
13	Potasio	549,3	902,8
14	Silicio	498,1	749,8
15	Sodio	458,9	667,6
16	Titanio	949,2	1402
17	Vanadio	71,11	99,74
18	Zinc	64,48	87,93

Los resultados muestran que, en los ríos y quebrada evaluadas, el hierro, aluminio, magnesio y calcio son metales con mayor abundancia, y el cromo, cobre, níquel, cobalto son menos abundantes.

Por otro lado, los metales con el 100 % de valores censurados o concentración por debajo del límite de cuantificación analítico, fueron: arsénico, berilio, cadmio, molibdeno, antimonio, selenio, talio, boro, bismuto, litio, estaño y mercurio; y plomo con 84,6 %; fueron censurados, por tanto, no permitieron realizar un análisis estadístico para la obtención de niveles de fondo ni de referencia de acuerdo al *ítem* 5.1.5.4.

Para el cromo hexavalente se presentó 11 valores censurados de un total de 15 datos; representando 73,33 % de datos censurados detallado en el Anexo 1; lo cual requeriría un tratamiento especial para identificar su distribución según el *ítem* 5.1.5.4; sin embargo, no se determina los niveles de fondo y referencia para cromo hexavalente debido a la presencia de 11 valores perdidos detallados en el Anexo 1.

7. CONCLUSIONES

i) Se realizó el análisis estadístico para establecer los niveles de fondo y niveles de referencia para TPH, fracciones de hidrocarburos F1 (C_6-C_{10}), F2 (C_{10}-C_{28}) y F3 (C_{28}-C_{40}), 32 metales y cromo hexavalente en sedimentos aguas arriba de los ríos Cuninico, Nucuray, Urituyacu, y quebrada Patoyacu asociados a los Km 39+500 al Km 90+000 del Canal de flotación del Tramo I del ONP.

ii) El nivel de fondo para TPH en sedimento en los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, quebrada Patoyacu asociados a los Km 39+500 al Km 90+000 del Canal de flotación del Tramo I del ONP es de 45,46 mg/kg, y para las fracciones de hidrocarburos F2 y F3 son 14,79 mg/kg y 48,97 mg/kg, respectivamente.

iii) El nivel de referencia para TPH en sedimento en los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, quebrada Patoyacu asociados a los Km 39+500 al Km 90+000 del Canal de flotación del Tramo I del ONP es de 101,1 mg/kg, y las fracciones de hidrocarburos F2 y F3 son 30,28 mg/kg y 89,03 mg/kg, respectivamente.

iv) El nivel de fondo y nivel referencia determinados para los 18 metales: Aluminio, bario, calcio, cobalto, cobre, cromo, estroncio, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, níquel, potasio, silicio, sodio, titanio, vanadio y zinc, en sedimentos de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, quebrada Patoyacu asociados del Km 39+500 al Km 90+000 del Canal de flotación del Tramo I del ONP, se presentan en la Tabla 6.2 del presente informe.

8. RECOMENDACIÓN

i) Emplear los niveles de fondo y de referencia calculados para la evaluación del estado de la calidad ambiental de sedimentos en el Canal de flotación ubicado entre el Km 39+500 al Km 90+000 del Tramo I del ONP.

9. ANEXOS

Anexo 1: Tablas resumen de resultados del tratamiento estadístico
Anexo 2: Fichas estadísticas de representación gráfica de resultados
Anexo 3: Reporte de resultados N° 039-2019-SSIM de la primera evaluación
Anexo 4: Reporte de resultados N° 147-2019-SSIM de la segunda evaluación

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATSM. (1994b) American Society for Testing and Materials: Terminology. Philadelphia: American Society for Testing and Materials. E943-94, en Poleto, C. & Charlesworth S. 2010.Sedimentology of Aqueous Systems. Blackwell's Publishing Ltd. UK.
- Alberti, G. (2018). GmAMisc: Gianmarco Alberti Miscellaneous. R package versión1.0.0. https://CRAN.R-project.org/package=GmAMisc.
- De Miguel, E., A. Callaba, J.C. Arranz, V. Cala, E. Chacón, E. Gallego, E. Alberruche, C. Alonso, P. Fdez-Canteli, I. Iribarren, and H. Palacios. (2002). Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid. Serie Medio Ambiente. Terrenos contaminados nº 2. Instituto Geológico y Minero de España. 167 p., Madrid.
- Daniel, DL (2015). Una perspectiva Estudio de caso sobre el trabajo con ProUCL y una Agencia de Medio Ambiente del Estado en la determinación de valores de umbral de fondo. Revista Internacional de Investigación del Medio Ambiente y Salud Pública, 12 (10), 12905-12923. http://doi.org/10.3390/ijerph121012905
- Dixon, W.J. (1953). Processing Data for Outliers. Biometrics 9: p.74-89.
- Efron, B. (1979). Computers and the theory of statistics: thinking the unthinkable. SIAM *review*, *21*(4), 460-480.
- Ezpeleta, A. M. (Ed.). (2003). Clima y calidad ambiental (Vol. 136). Univ Santiago de Compostela.
- Hahn, J. G. and Meeker, W.Q. (1991). Statistical Intervals. A Guide for Practitioners. John Wiley.

- Hart´l, M. G.J. (2002) Benthic fish a sentinel organisms of estuarine sediment toxicity, en Poleto, C. & Charlesworth S. 2010. Sedimentology of Aqueous Systems. Blackwell's Publishing Ltd. UK.
- Helsel, D. R. (2011). Statistics for censored environmental data using Minitab and R (Vol. 77). John Wiley & Sons.
- Helsel, D. (2013). Nondetects and Data Analysis for Environmental Data, NADA in R.
- ISO 19258:2018. Soil Quality guidance of determination background values (Endorsed by Asociación Española de Normalización – UNE), in November of 2018. Disponible en:https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0060664. [Consultado el 30/04/2019].
- Jáuregui, A. L., & Oliden, P. E. (2004). Estimación bootstrap para el coeficiente de determinación: un estudio de simulación. REMA, 9(2), 1-14.
- Kaplan, E.L. and Meier, O. (1958). Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. Journal of the American Statistical Association, Vol. 53. 457-481.
- Knezovich, J. P., Harrison, F. L. & Wilhelm, R. G. (1987) The bioavailability of sediment-sorbed organic chemicals: a review. Water Air Soil Pollution, 32, 233.
- Noreen, E. W. (1989). *Computer-intensive methods for testing hypotheses*. New York: Wiley.
- Rosner, B. (1975). On the detection of many outliers. Technometrics, 17, p 221 -227.
- Sundby, B. (1991) Geochemical aspects of metal bioavailability: an overview of sediment geochemistry, en Poleto, C. & Charlesworth S. 2010. Sedimentology of Aqueous Systems.Blackwell's Publishing Ltd. UK.
- U.S. EPA Washington, D.C. (2002). Calculating upper confidence limits for exposure point concentrations at hazardous waste sites.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2013). ProUCL Version 5.0 Technical Guide. EPA /600/R-07/041, 2013.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2006). Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners, EPA QA/G-9S. EPA/240/B-06/003. Office of Environmental Information, Washington, D

Anexos

Informe de determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de hidrocarburos totales del petróleo y metales en el sedimento de los ríos Cuninico, Nucuray y Urituyacu y, la quebrada Patoyacu ubicados entre el Km 39+500 al Km 90+000 del Tramo I del oleoducto norperuano entre diciembre de 2018 y marzo de 2019

Anexo 1

Tablas de resumen de resultados de tratamiento estadístico

Tabla 1.1 Tabla de resumen de resultados de análisis estadístico

N	Parámetro	N	Mínima	Mediana	Media	P95	Máximo	Varianza	Desviación estándar	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Distribución	Censurados	Anómalos
1	F3	12	6,8	42,75	38,98	63,75	73,1	334,8	18,3	48,97	89,03	Normal al retirar outliers	Sí	Sí
2	Calcio	25	2441	3014	3103	3968	4316	198025	445	3256	4123	Normal al retirar outliers	No	sí
3	Cromo	25	16,4	24,2	24,55	34,04	34,6	30,614089	5,533	26,44	37,23	Normal al retirar outliers	No	SÍ
4	Magnesio	23	1842	3103	3102	3880	3942	292356,49	540,7	3295	4360	Normal al retirar outliers	No	SÍ
5	Manganeso	23	136	586	605,1	1141	1530	117237,76	342,4	727,7	1402	Normal al retirar outliers	No	SÍ
6	Níquel	25	8	20	20	27,8	36	37,0881	6,09	22,08	33,96	Normal al retirar outliers	No	SÍ
7	Bario	26	26,3	148,7	172,6	361,7	449,2	9484,8121	97,39	211,9	453,1	Gamma	No	No
8	Estroncio	26	26,9	51,6	52,97	67,08	82	105,6784	10,28	56,92	79,54	Gamma	No	No
9	Aluminio	26	4289	16224	17725	29603	34657	61701025	7855	20356	35595	Normal	No	No
10	Cobalto	26	6	13,1	14,01	22,88	26,6	22,344529	4,727	15,6	24,77	Normal	No	No
11	Cobre	26	5,2	17,45	19,77	35,25	37,6	91,623184	9,572	22,98	41,54	Normal	No	No
12	Fósforo	26	386	578,2	618,6	961,7	1009	28561	169	675,3	1003	Normal	No	No
13	Hierro	26	13244	22215	24395	34516	36094	37994896	6164	26460	38418	Normal	No	No
14	Potasio	26	189,4	474,4	488,2	809,9	846,6	33196,84	182,2	549,3	902,8	Normal	No	No
15	Silicio	26	230,2	463,1	454,6	644,6	686,9	16848,04	129,8	498,1	749,8	Normal	No	No
16	Sodio	26	211	419,5	422,8	563,8	585	11577,76	107,6	458,9	667,6	Normal	No	No
17	Titanio	26	322,5	945,8	871	1217	1307	54568,96	233,6	949,2	1402	Normal	No	No
18	Vanadio	26	40,5	66,85	66,16	87,25	97,5	217,8576	14,76	71,11	99,74	Normal	No	No
19	Zinc	26	34,2	59,65	60,43	80,38	83,2	146,1681	12,09	64,48	87,93	Normal	No	No

Tabla 1.2 Tabla de resumen de resultados de análisis estadístico para TPH y F2

Resumen estadístico	Parámetro	
	TPH	F2
N	24	23
Mínima	13,3	6,8
Mediana	13,3	6,8
Media (Kaplan Meier)	34,88	11,6
P95	78,83	28,02
Máximo	105,6	32,2
Varianza (Kaplan Meier)	822,6	55,48
Desviación estándar (Kaplan Meier)	28,68	7,449
Nivel de fondo	**45,46**	**14,79**
Nivel de referencia	**101,1**	**30,28**
Distribución	Normal al retirar outliers	Gamma
Censurados	Sí	Sí
Anómalos	SÍ	Sí

Tabla 1.3 Tabla de valores anómalos o outliers

Parámetros	Unidad de medida	*Outliers*
TPH	mg/kg Peso seco	197,9 y 260,8
Fracción F2		45,9; 55,9; 45,5
Fracción F3		12 valores de 6,8; 150,5 y 205
Calcio		7415
Cromo		45
Magnesio		5388; 6203; 8043
Manganeso		2073; 2145; 3246
Níquel		45
Estroncio		26,9 y 82

Tabla 1.4 Tabla de valores censurados y valores perdidos

Parámetros	N	Valores perdidos	Valores censurados	% de censurados
TPH	26	0	14	53,8
F1	26	0	26	100
F2	26	0	16	61,5
F3	26	0	14 (**)	53,8
Cromo VI	26	11	11	73,3 (*)
Plomo	26	0	22	84,6
Plata	26	0	26	100
Arsénico	26	0	26	100
Berilio	26	0	26	100
Cadmio	26	0	26	100
Molibdeno	26	0	26	100
Antimonio	26	0	26	100
Selenio	26	0	26	100
Talio	26	0	26	100
Boro	26	0	26	100
Bismuto	26	0	26	100
Litio	26	0	26	100
Estaño	26	0	26	100
Mercurio	26	0	26	100

(*) 73,33 % resulta de 11 valores censurados de un total de 15 datos
(**) De estos 14 valores censurados, 12 resultaron ser anómalos

Tabla 1.5 Tabla de valores censurados y valores perdidos

Parámetro	Shapiro-Wilk normal	Kolmogórov-Smirnov normal	Anderson–Darling gamma	Kolmogórov-Smirnov gamma	Shapiro-Wilk lognormal	Kolmogórov-Smirnov lognormal	Decisión
Calcio	0,068	0,303	>= 0,10	>= 0,10	0,429	0,471	Normal al retirar outliers
Cromo	0,242	0,495	>= 0,10	>= 0,10	0,401	0,897	Normal al retirar outliers
Magnesio	0,655	0,818	>= 0,10	>= 0,10	0,198	0,695	Normal al retirar outliers
Manganeso	0,121	0,135	>= 0,10	>= 0,10	0,775	0,714	Normal al retirar outliers
Níquel	0,811	0,538	>= 0,10	>= 0,10	0,494	0,599	Normal al retirar outliers
F3	0,59	0,529	>= 0,10	>= 0,10	0,941	0,905	Normal al retirar outliers
Aluminio	0,111	0,191	>= 0,10	>= 0,10	0,251	0,471	Normal
Bario	0,007	0,002	>= 0,10	>= 0,10	0,207	0,248	Gamma
Cobalto	0,105	0,167	>= 0,10	>= 0,10	0,653	0,273	Normal
Cobre	0,054	0,163	>= 0,10	>= 0,10	0,46	0,927	Normal
Estroncio	0,042	0,03	0,01 <= p < 0,05	>= 0,10	0,011	0,092	Gamma
Fósforo	0,055	0,099	>= 0,10	>= 0,10	0,543	0,575	Normal
Hierro	0,168	0,078	>= 0,10	>= 0,10	0,337	0,354	Normal
Potasio	0,529	0,779	>= 0,10	>= 0,10	0,639	0,662	Normal
Silicio	0,287	0,671	0,05 <= p < 0,10	>= 0,10	0,031	0,202	Normal
Sodio	0,23	0,61	0,05 <= p < 0,10	>= 0,10	0,026	0,072	Normal
Titanio	0,513	0,074	0,05 <= p < 0,10	0,01 <= p < 0,05	0,015	0,015	Normal
Vanadio	0,835	0,97	>= 0.10	>= 0,10	0,737	0,474	Normal
Zinc	0,967	0,942	>= 0.10	>= 0,10	0,484	0,748	Normal

Anexo 2

Fichas estadísticas de representación gráfica de resultados

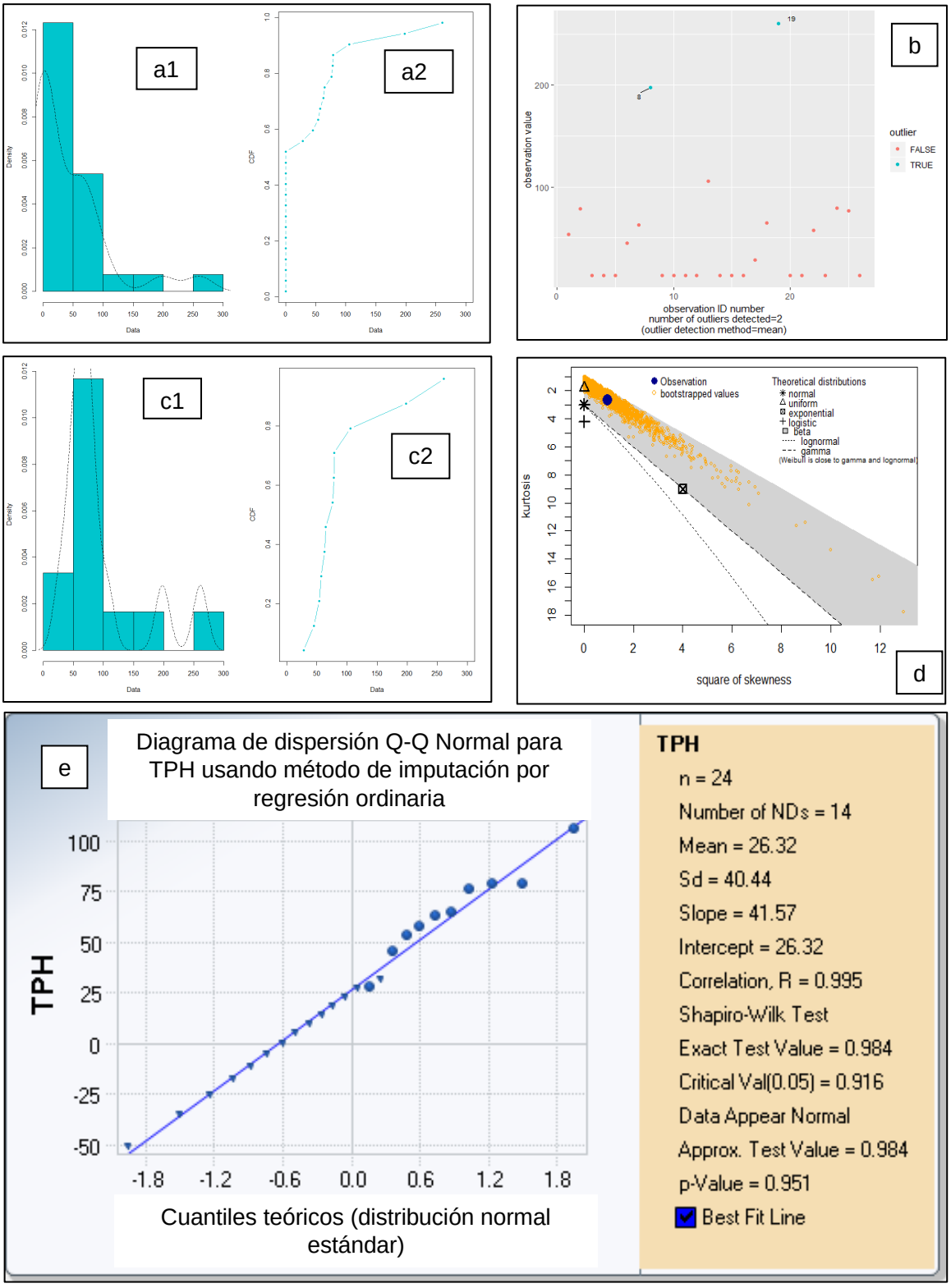

Fig. 2.1. Ficha estadística de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) a1) Densidad del TPH con valores censurados, a2) Distribución acumulada del TPH con valores censurados, b) valores anómalos mediante método basado en la media, c1) Densidad del TPH sin valores censurados, c2) Distribución acumulada del TPH sin valores censurados, d) Asimetria y curtosis al cuadrado y e) Diagrama de dispersión Q-Q Normal.

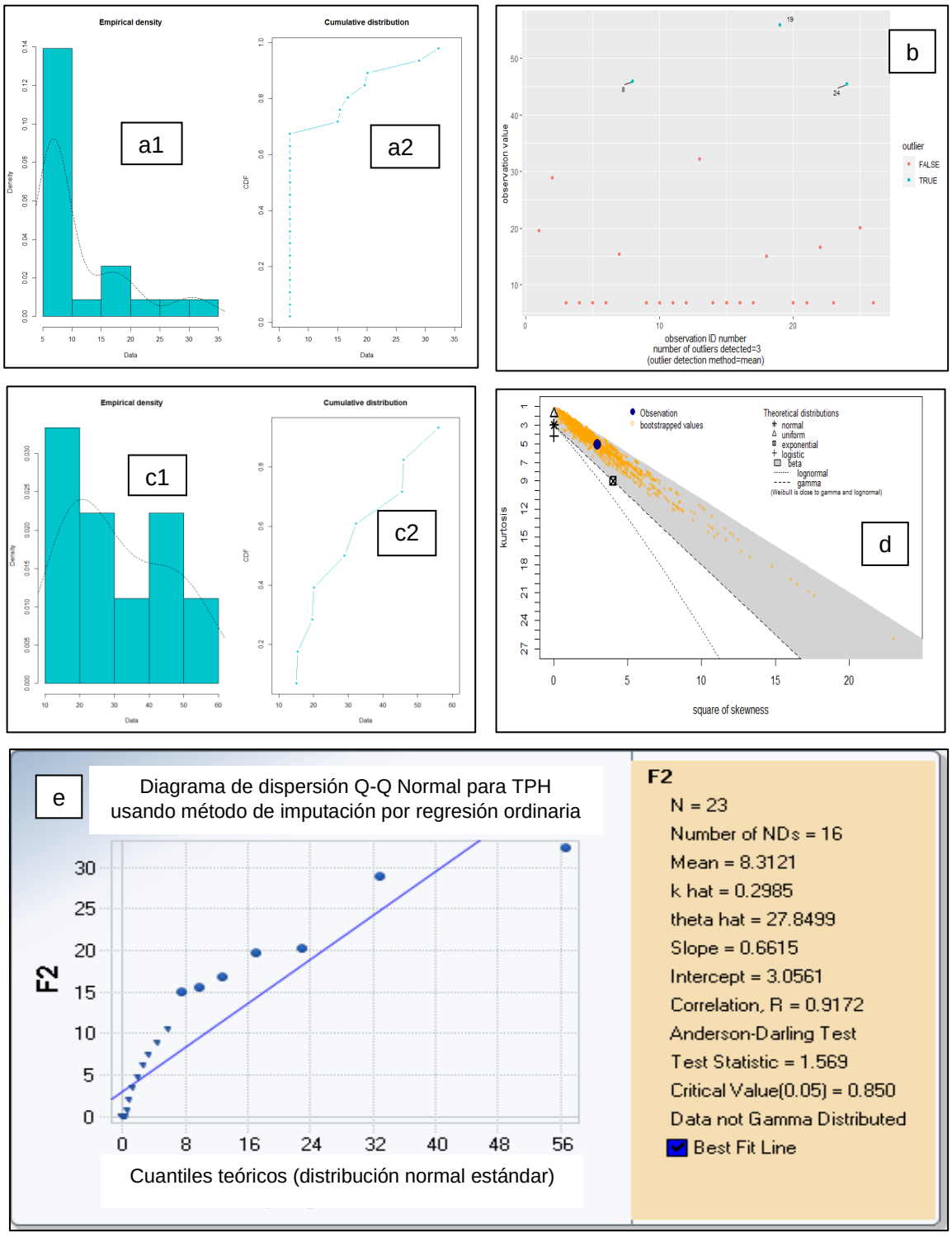

Fig 2.2. Ficha estadística de la fracción de hidrocarburos F2 a1) Densidad de F2 con valores censurados, a2) Distribución acumulada de F2 con valores censurados, b) valores anómalos mediante método basado en la media, c1) Densidad de F2 sin valores censurados, c2) Distribución acumulada de F2 sin valores censurados, d) Asimetria y curtosis al cuadrado y e) Diagrama de dispersión Q-Q Normal.

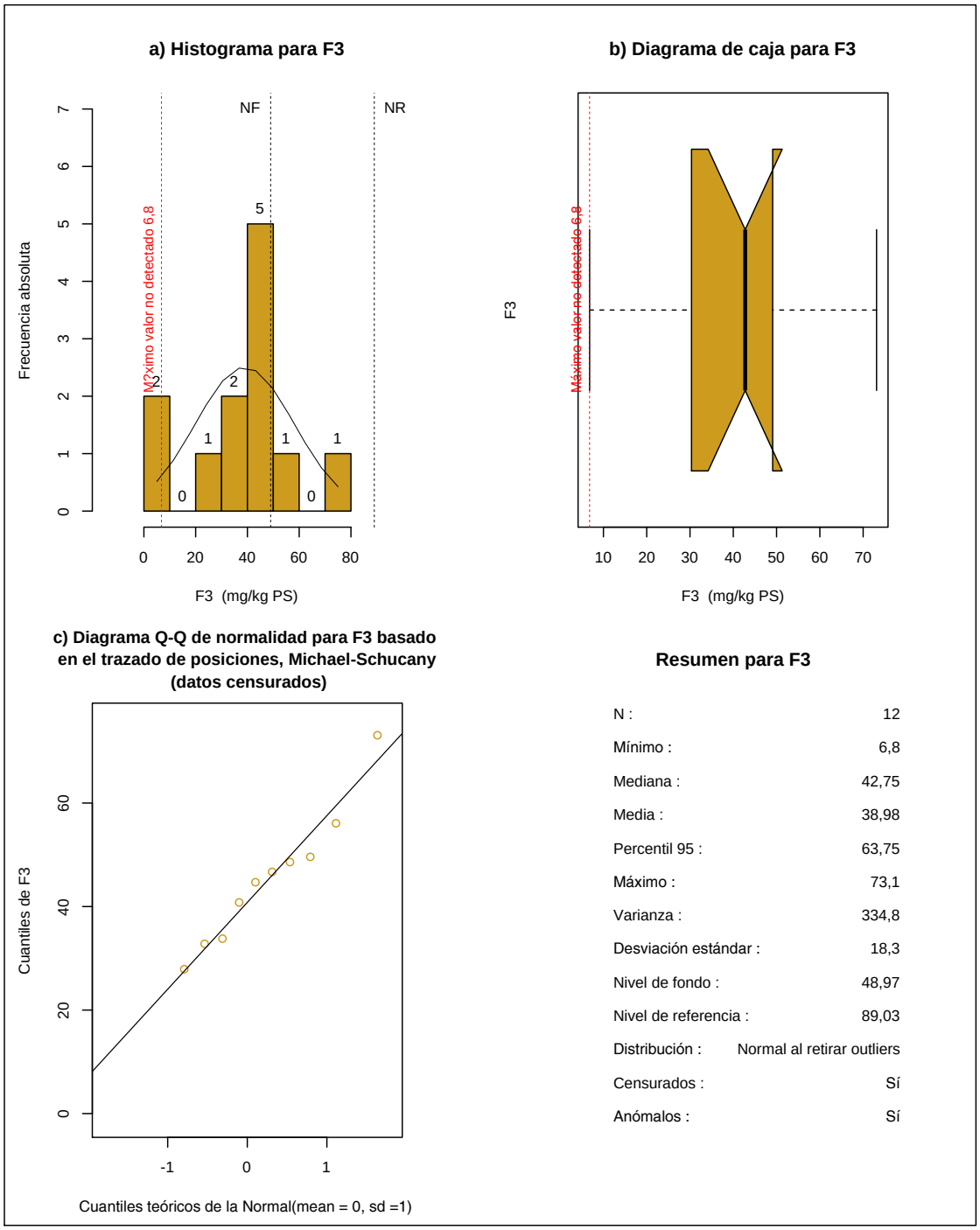

Fig. 2.3. Ficha estadística de la fracción de hidrocarburos F3

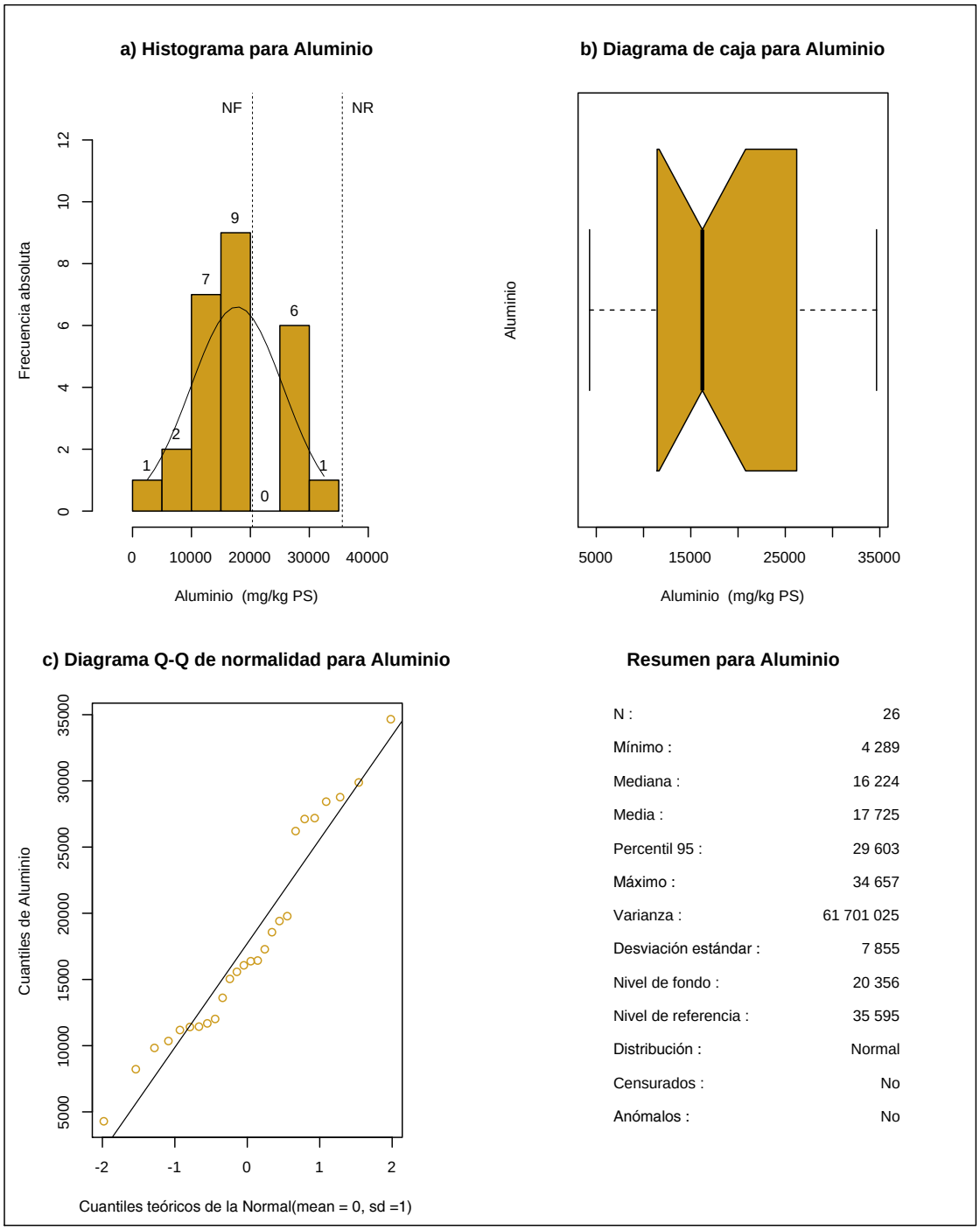

Fig. 2.4. Ficha estadística para aluminio

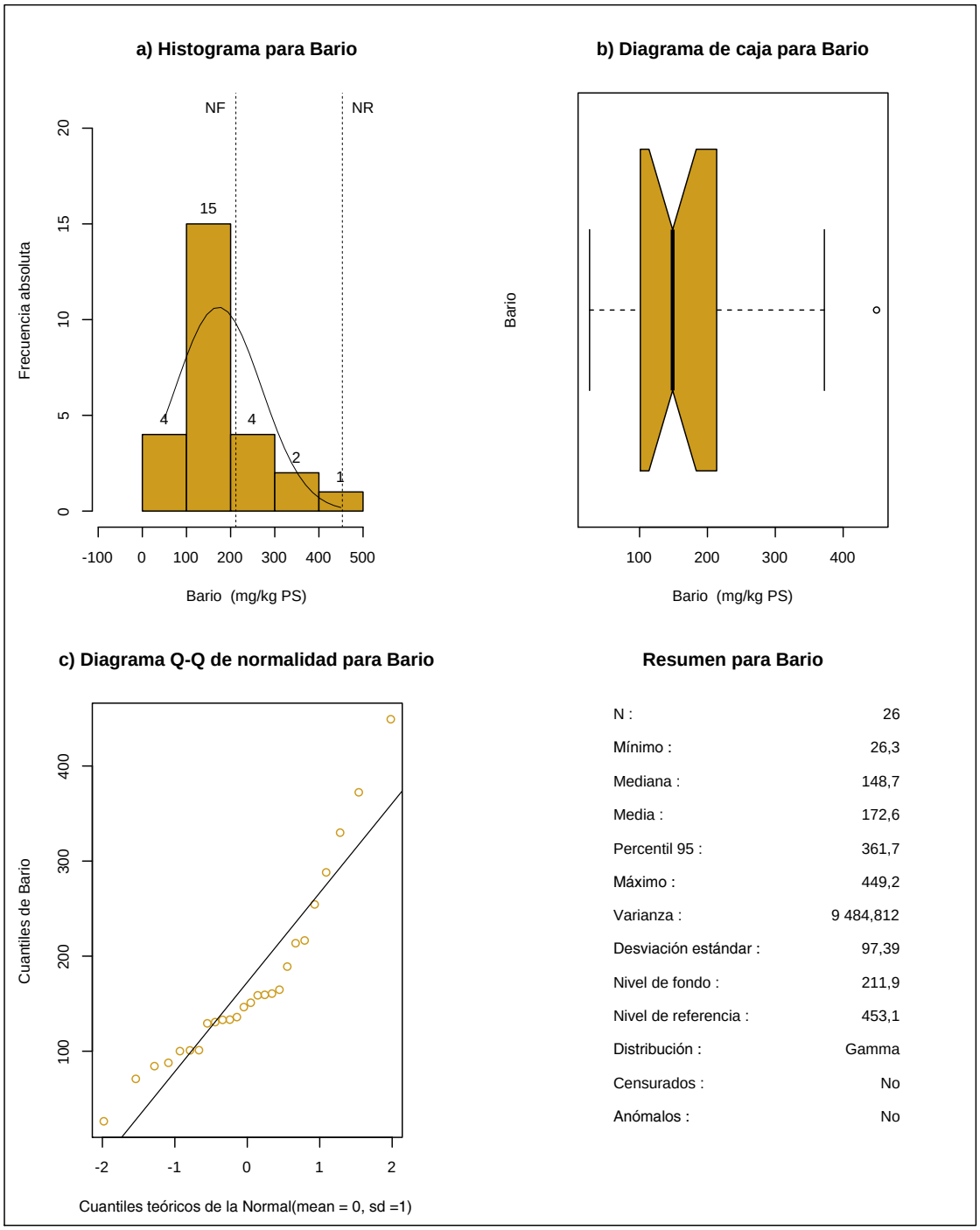

Fig. 2.5. Ficha estadística para bario

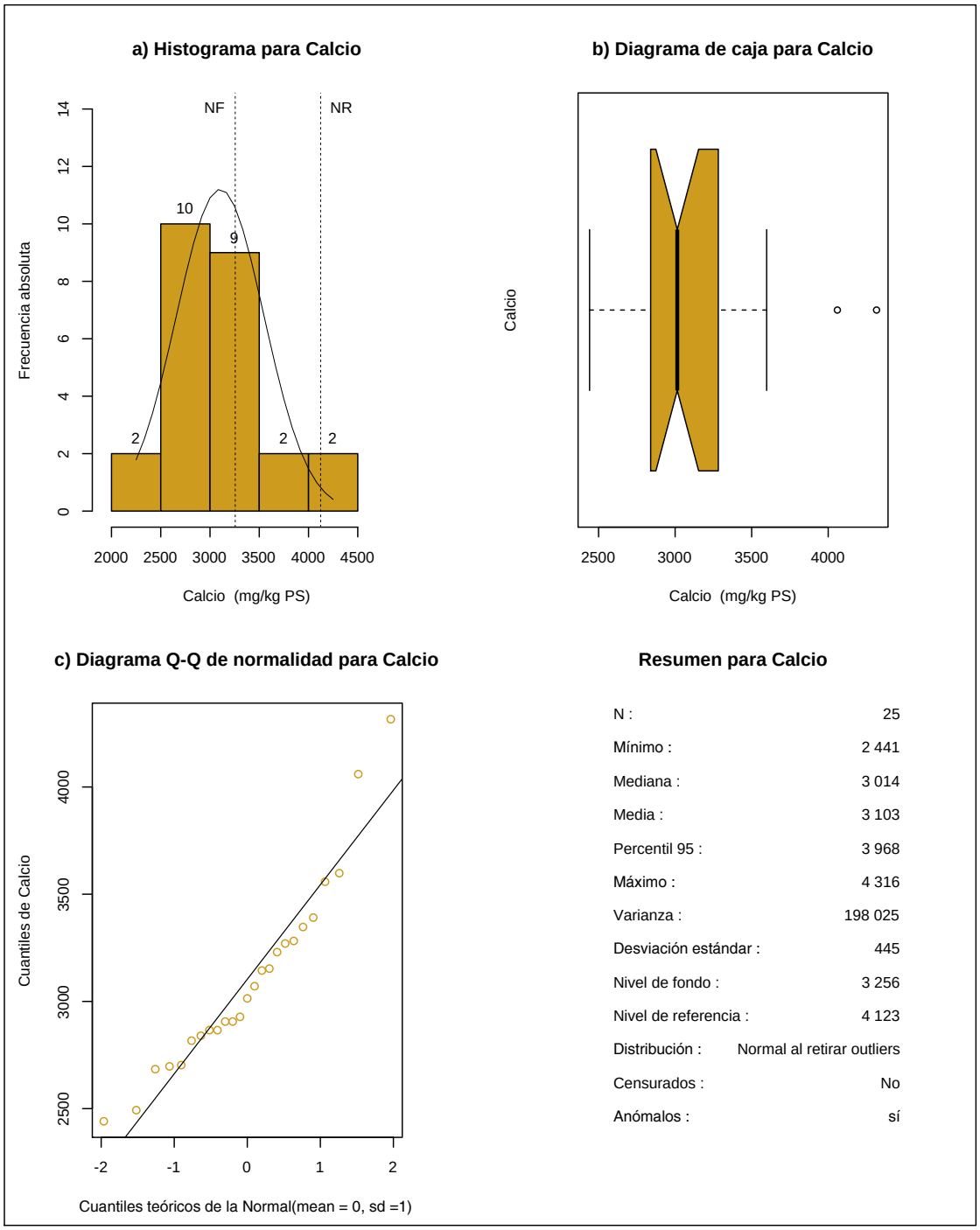

Fig. 2.6. Ficha estadística para cálcio

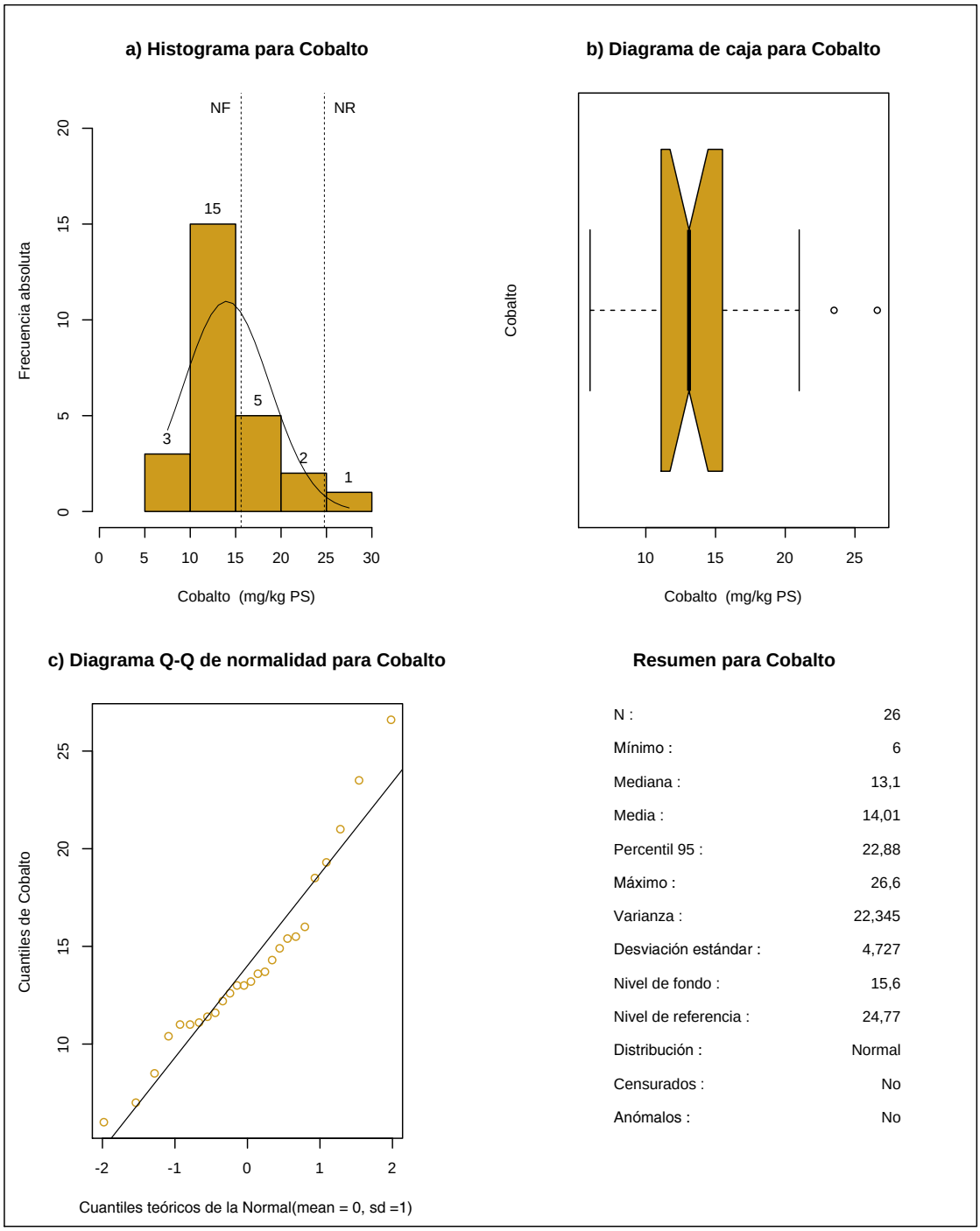

Fig. 2.7. Ficha estadística para cobalto

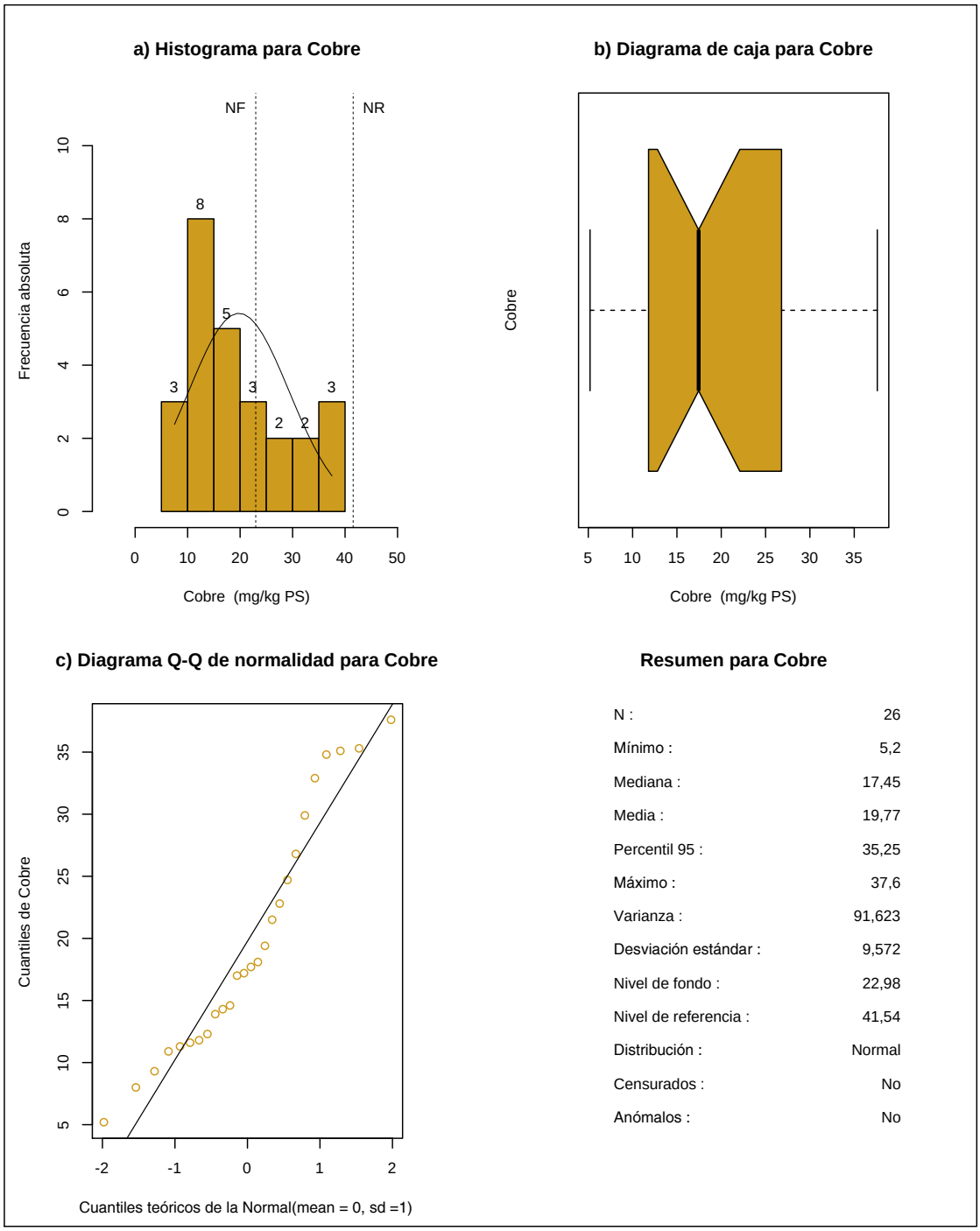

Fig. 2.8. Ficha estadística para cobre

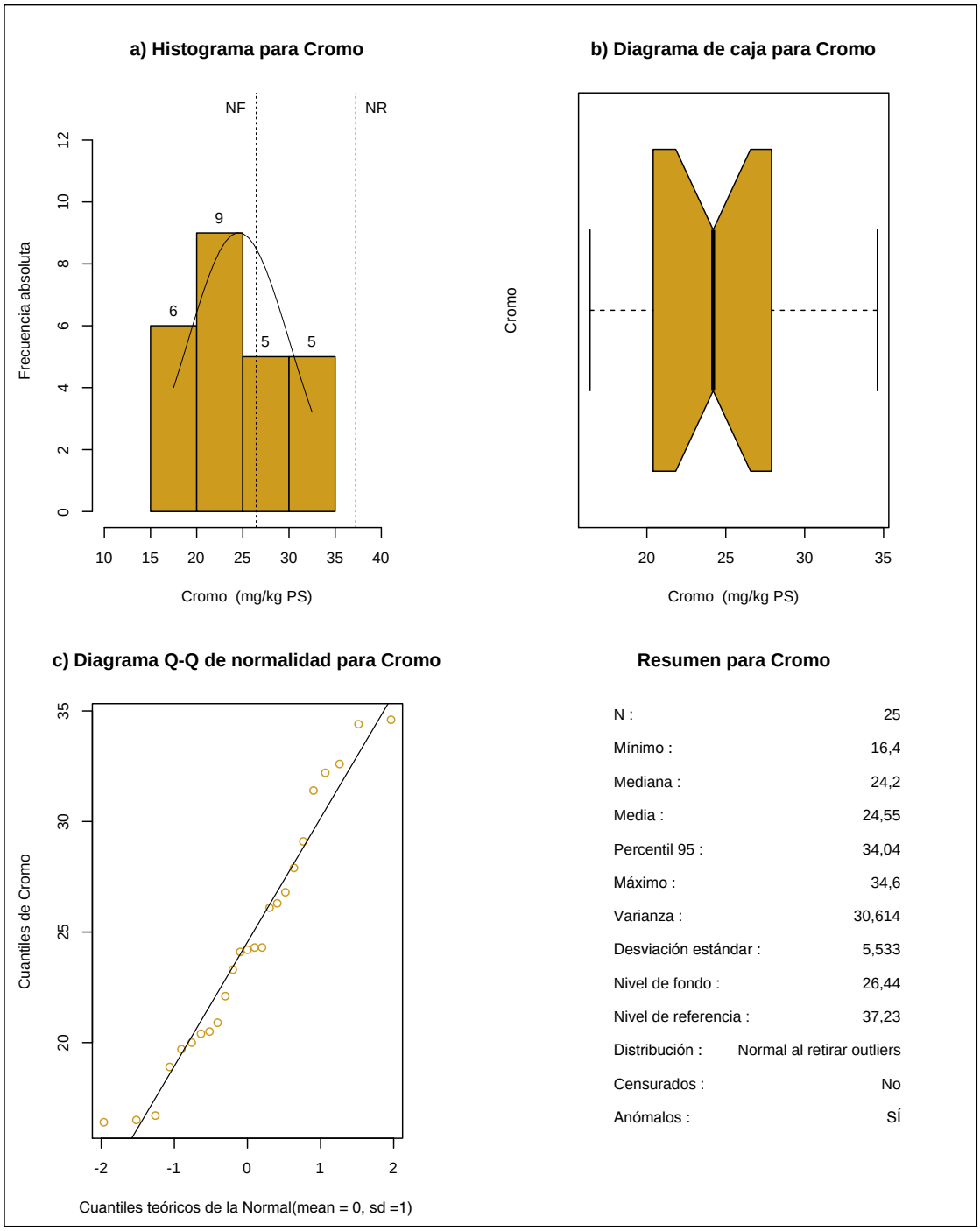

Fig. 2.9. Ficha estadística para cromo

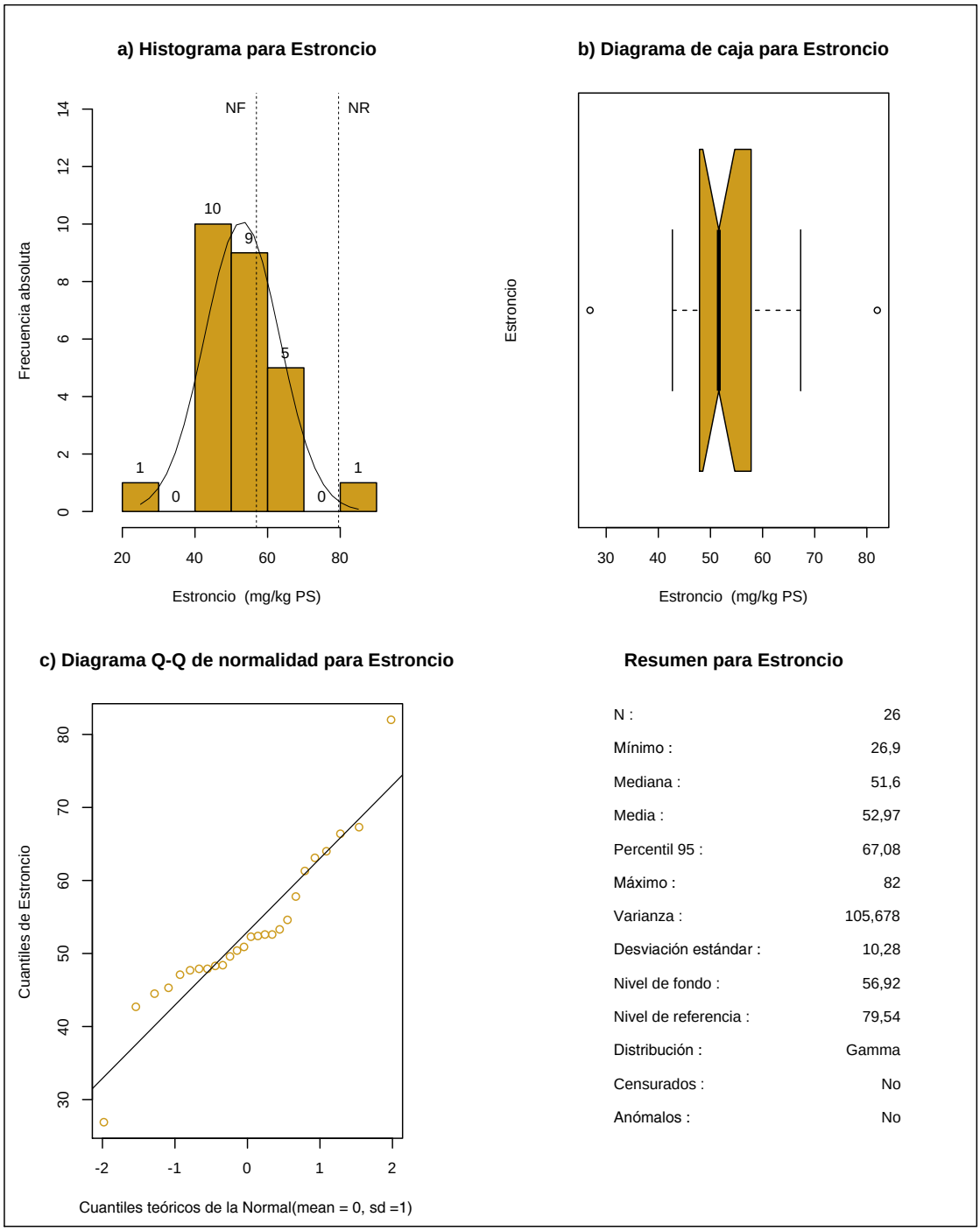

Fig. 2.10. Ficha estadística para estróncio

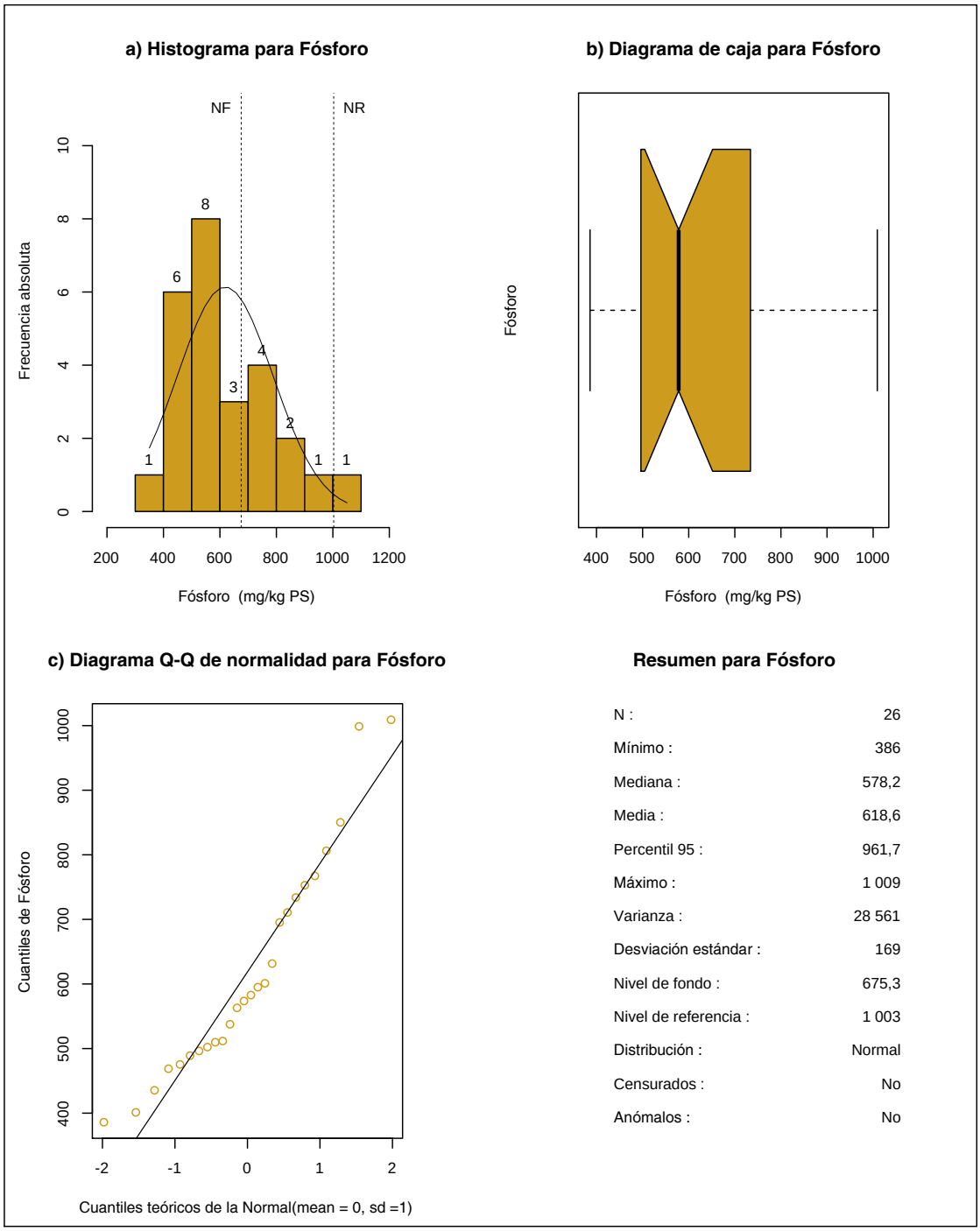

Fig. 2.11. Ficha estadística para fósforo

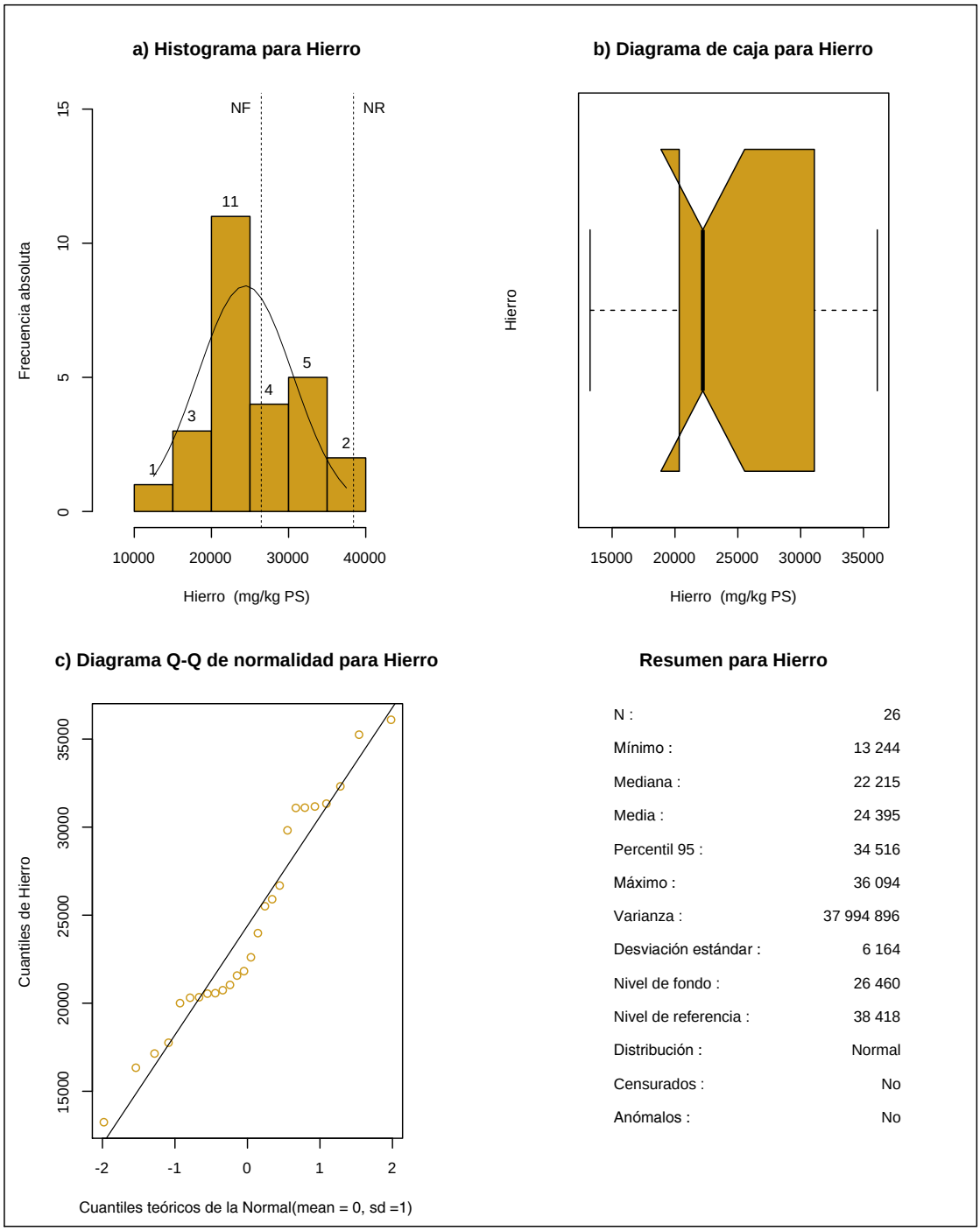

Fig. 2.12. Ficha estadística para hierro

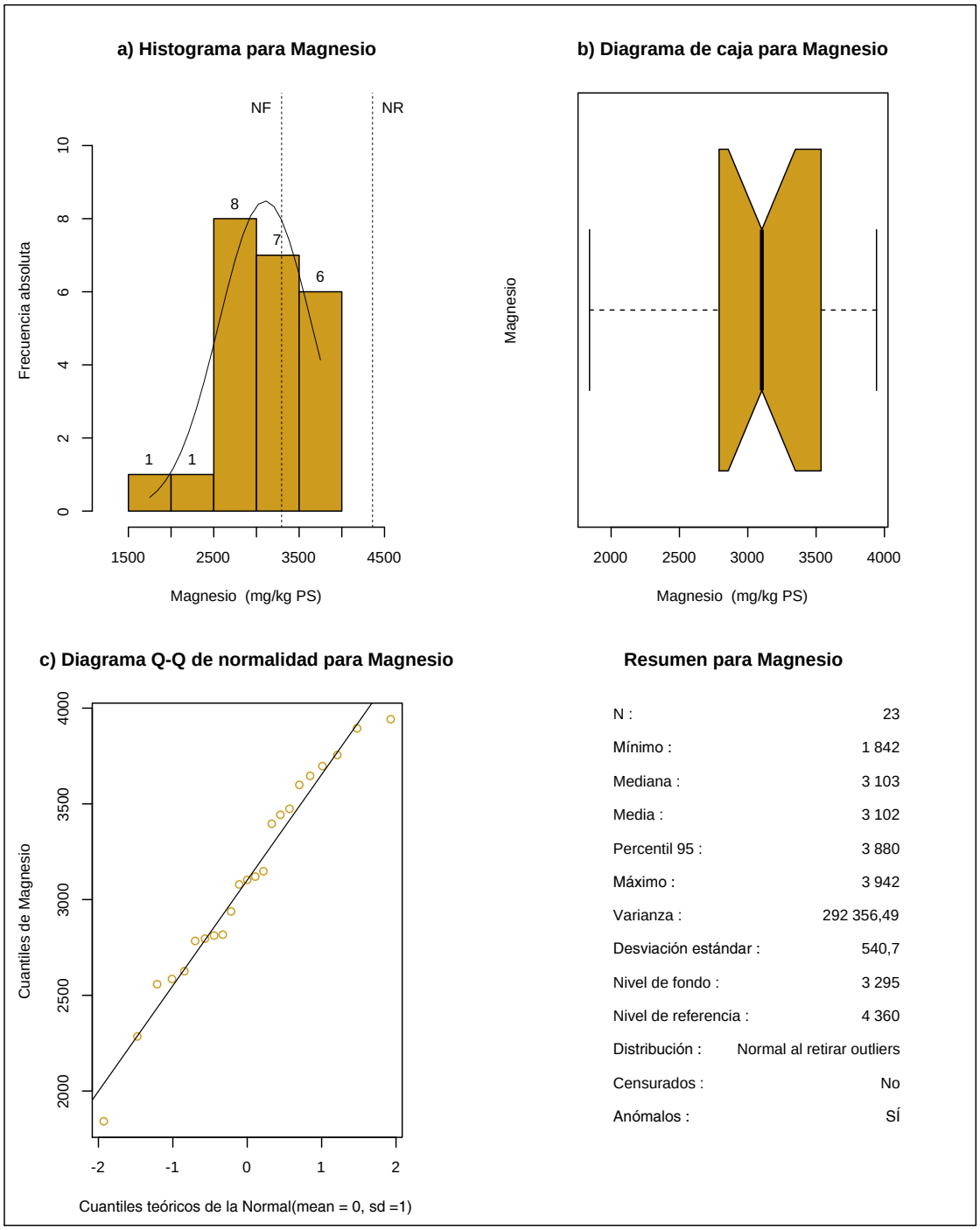

Fig. 2.13. Ficha estadística para magnésio

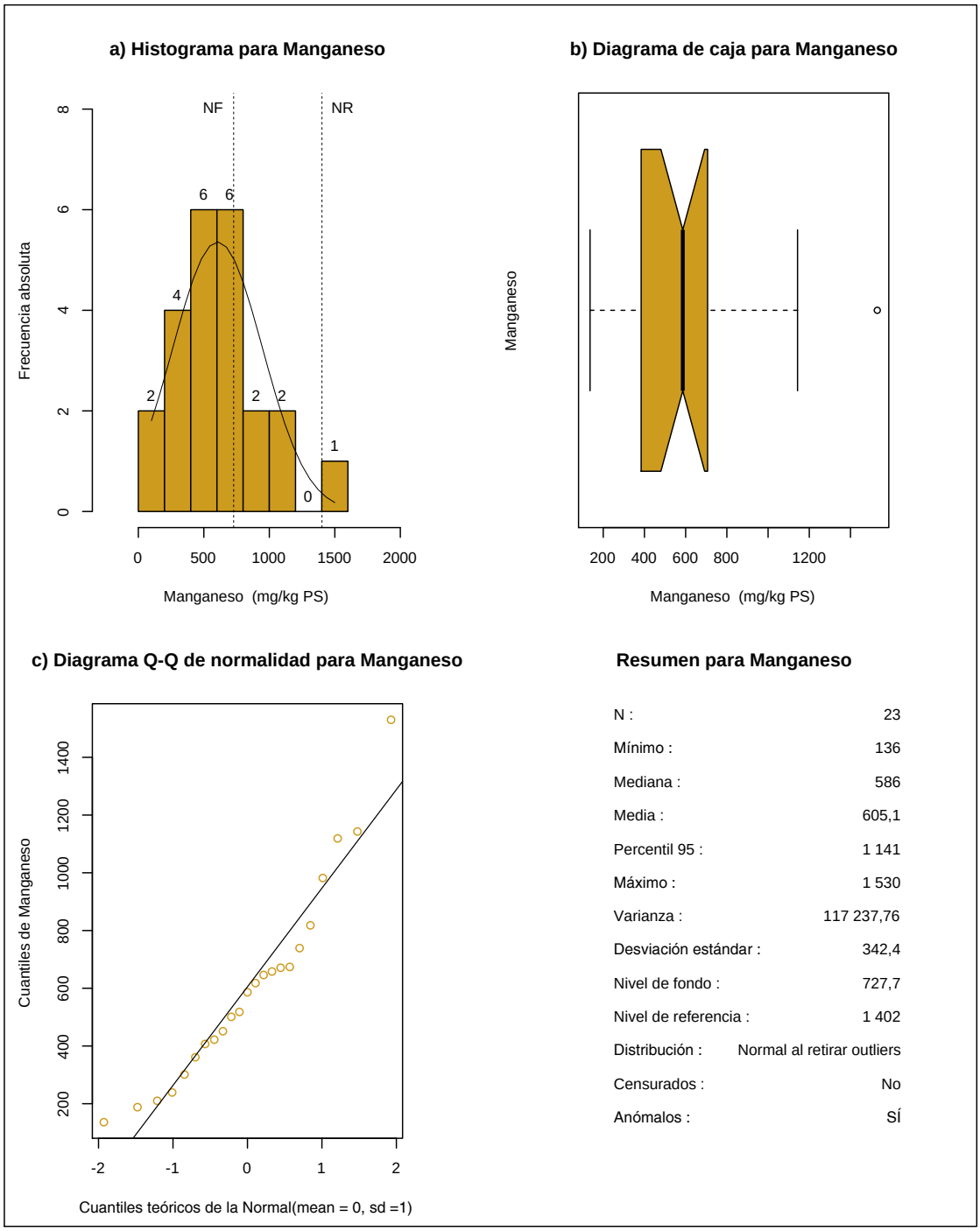

Fig. 2.14. Ficha estadística para manganeso

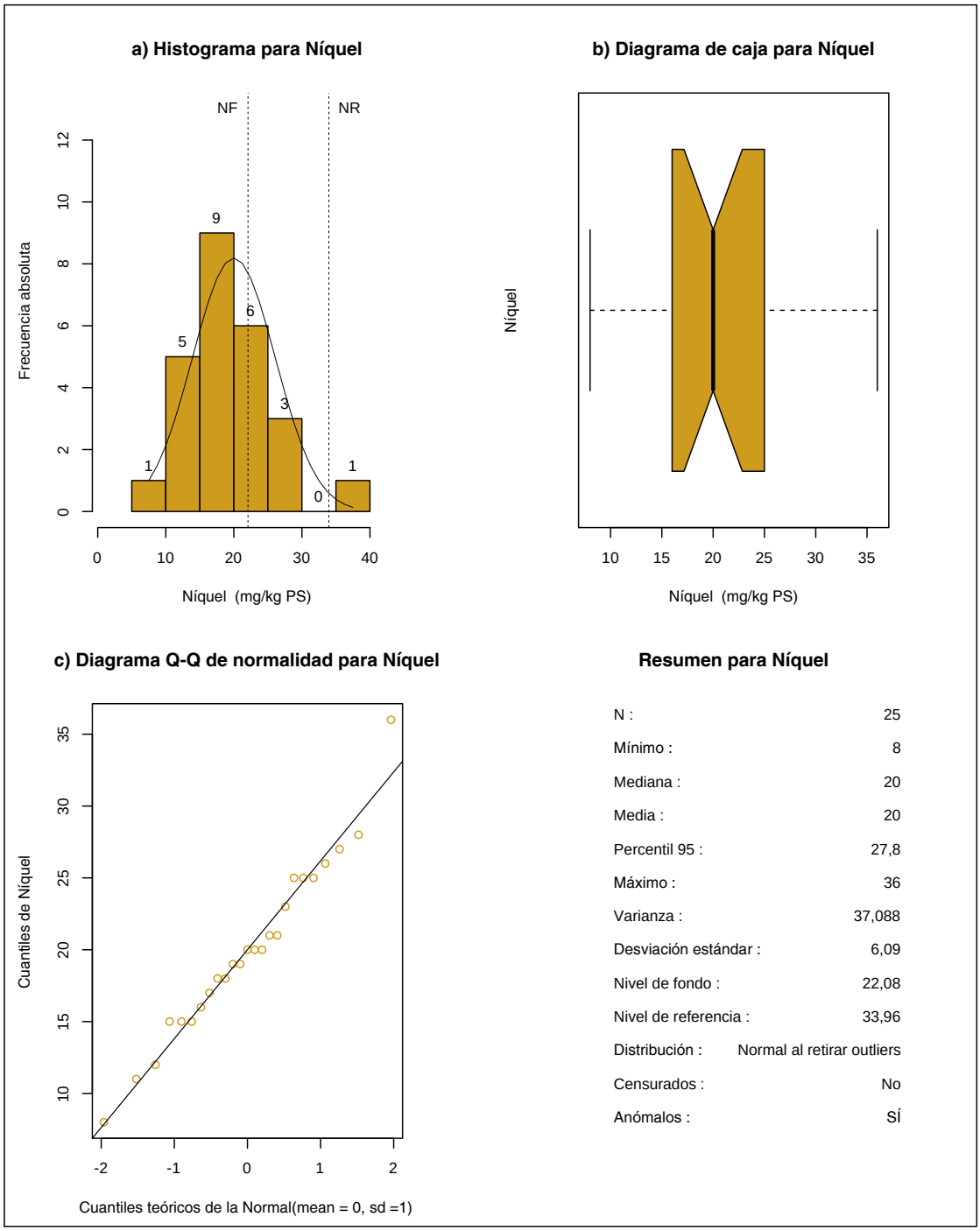

Fig. 2.15. Ficha estadística para níquel

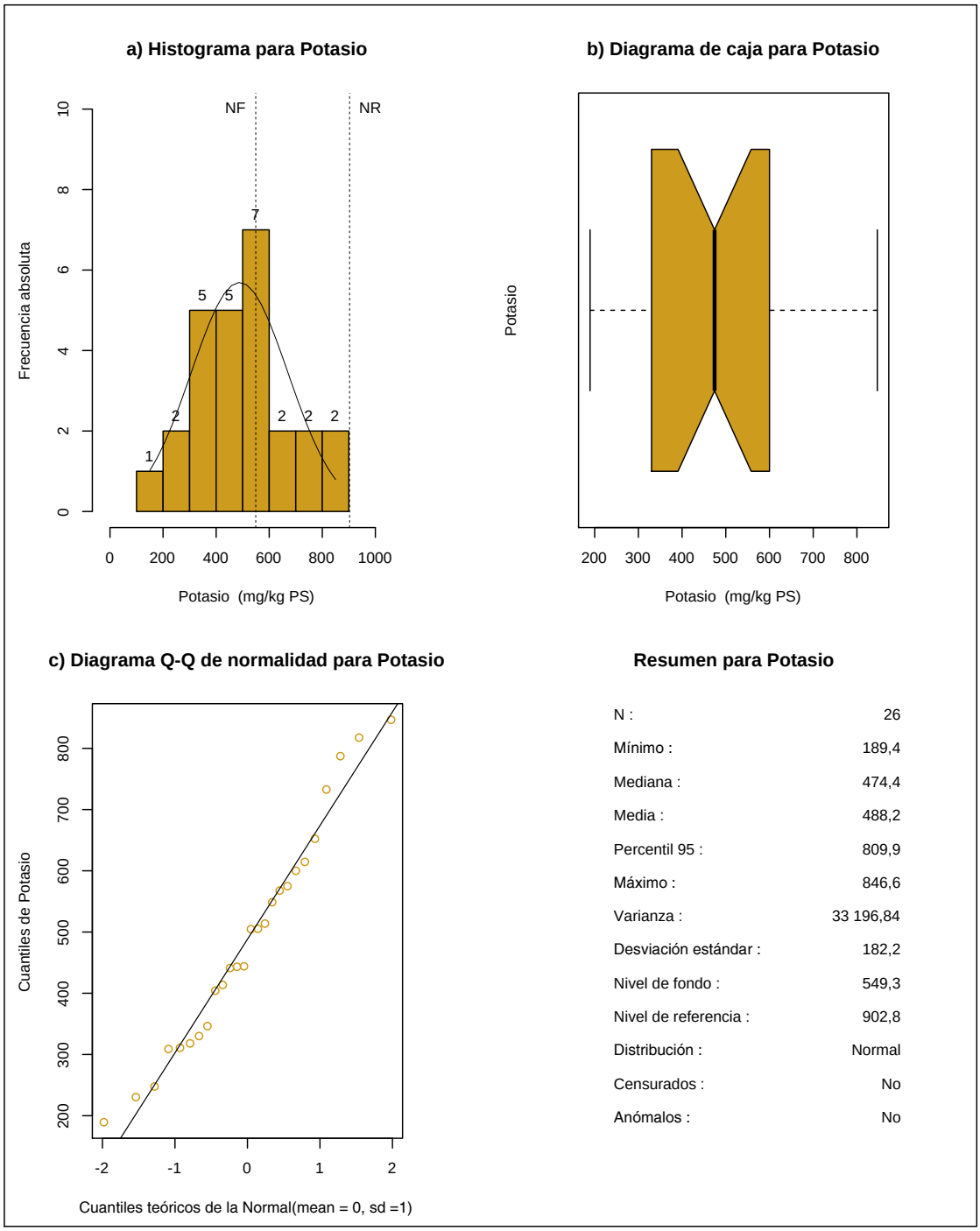

Fig. 2.16. Ficha estadística para potásio

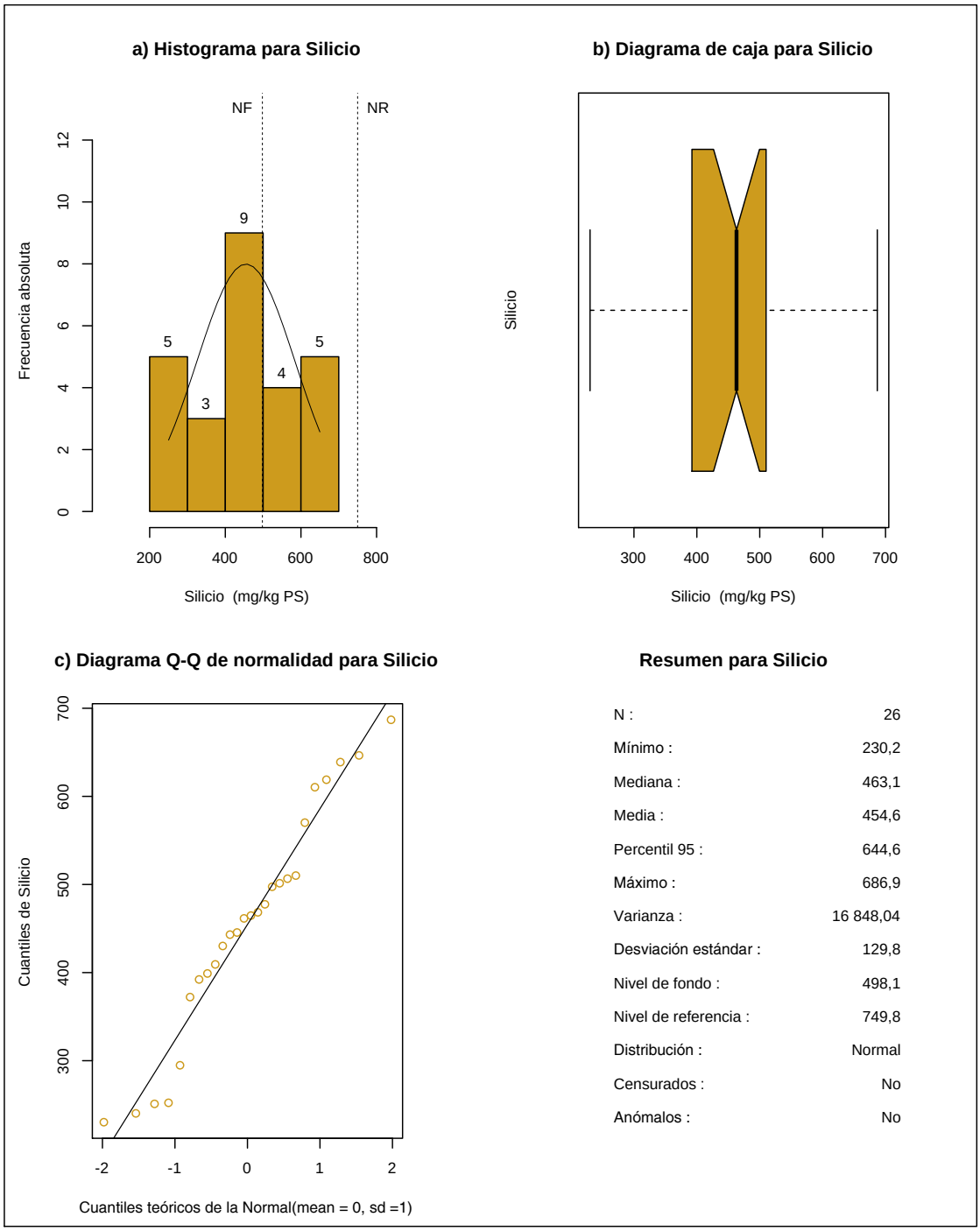

Fig. 2.17. Ficha estadística para silício

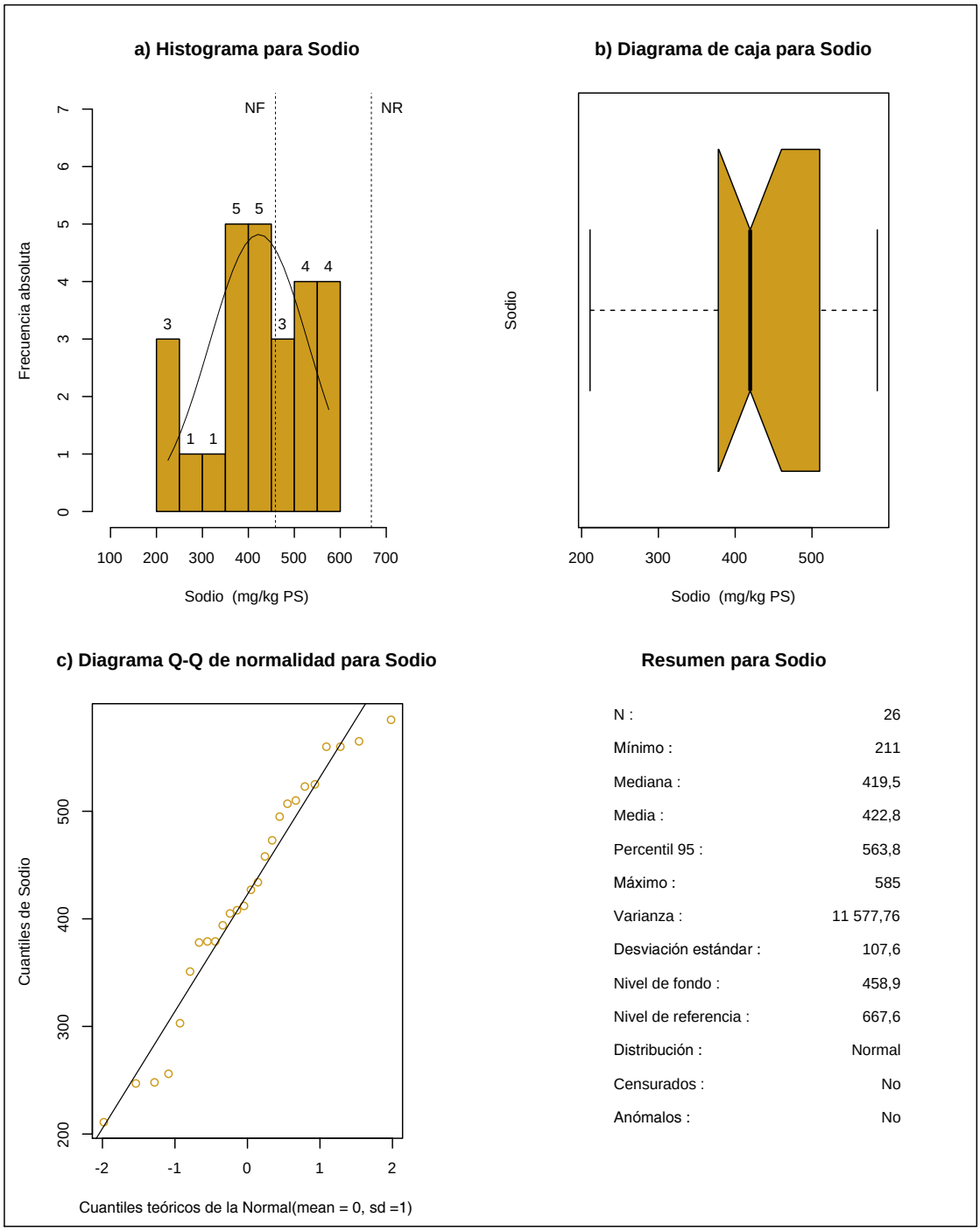

Fig. 2.18. Ficha estadística para sodio

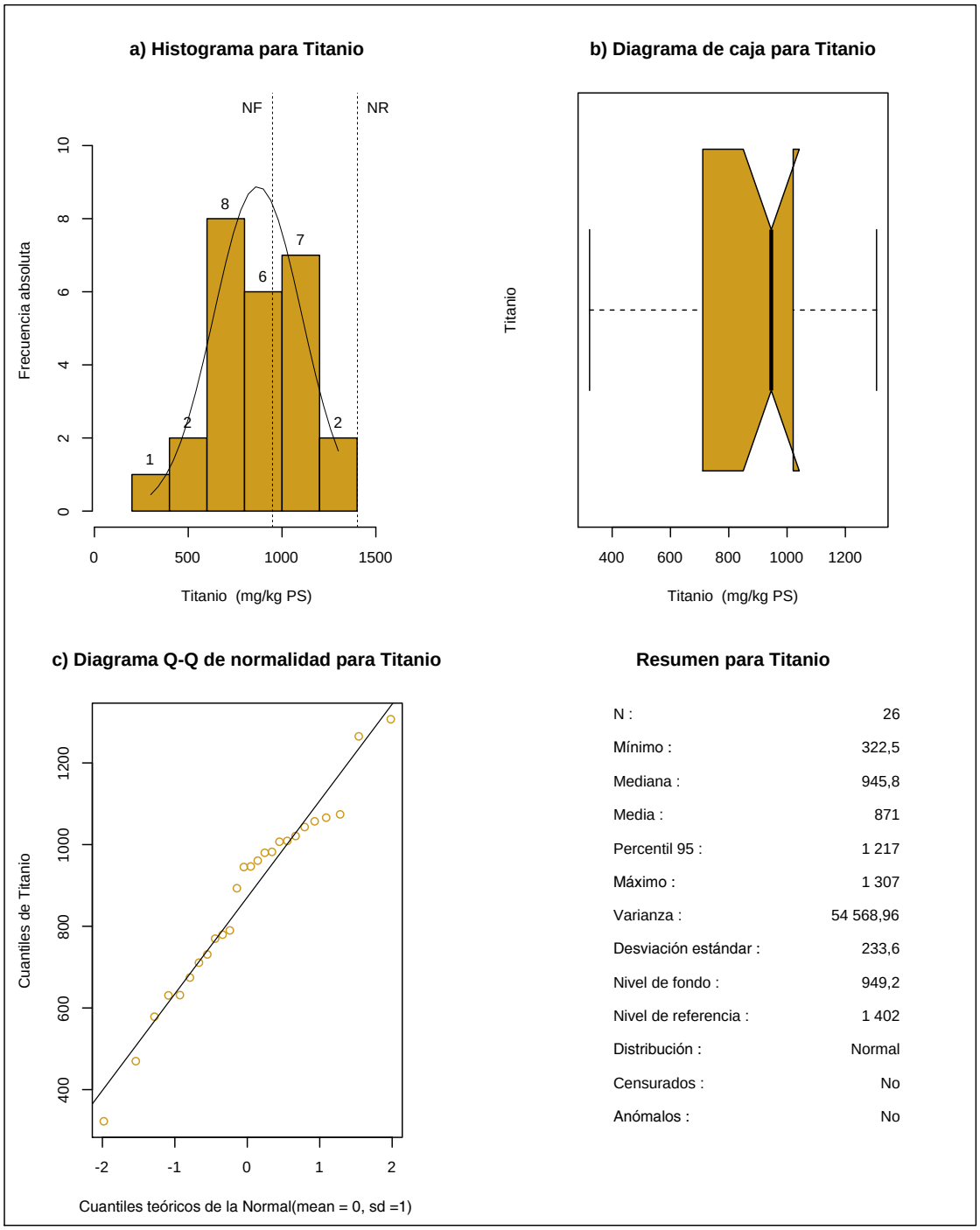

Fig. 2.19. Ficha estadística para titanio

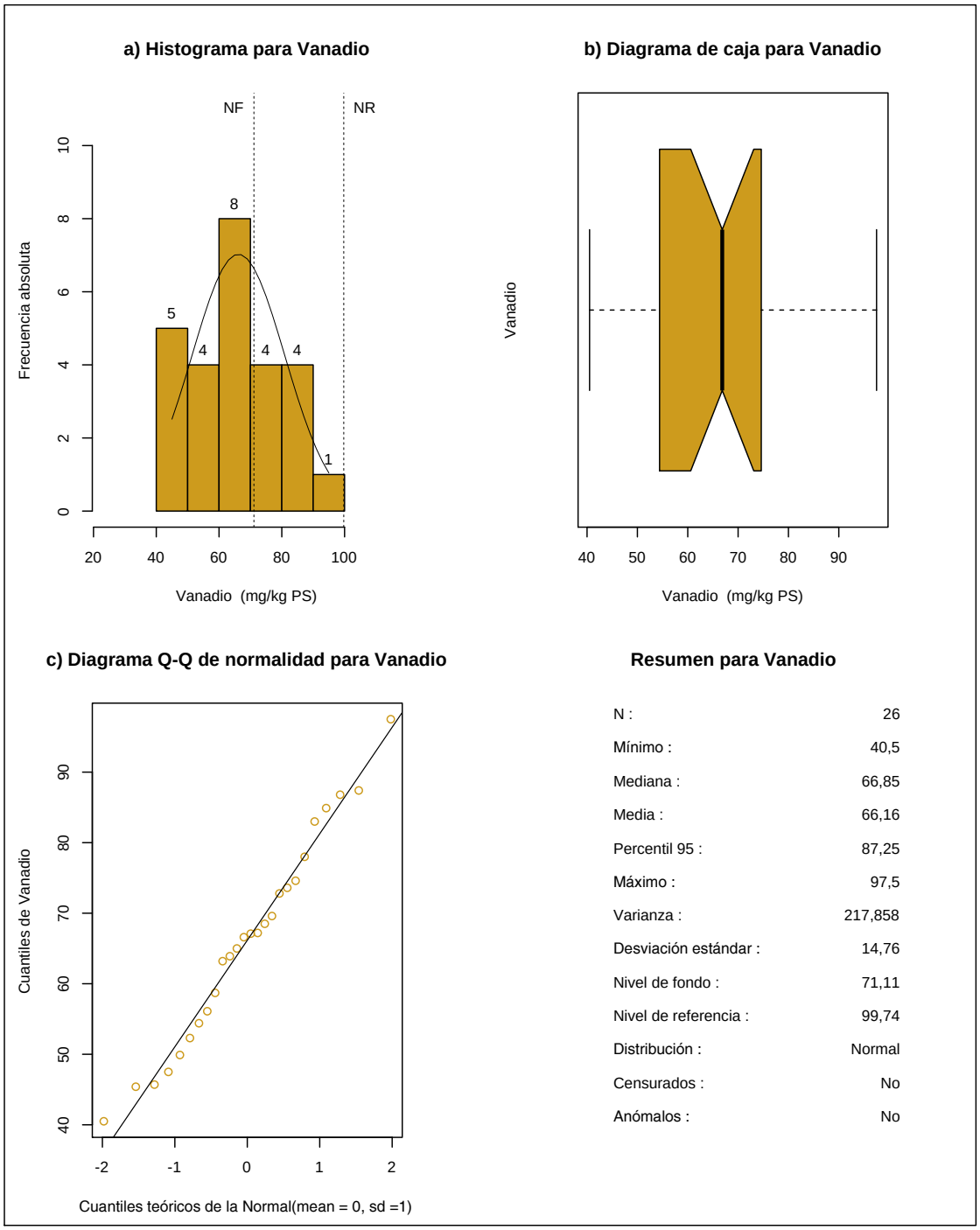

Fig. 2.20. Ficha estadística para vanadio

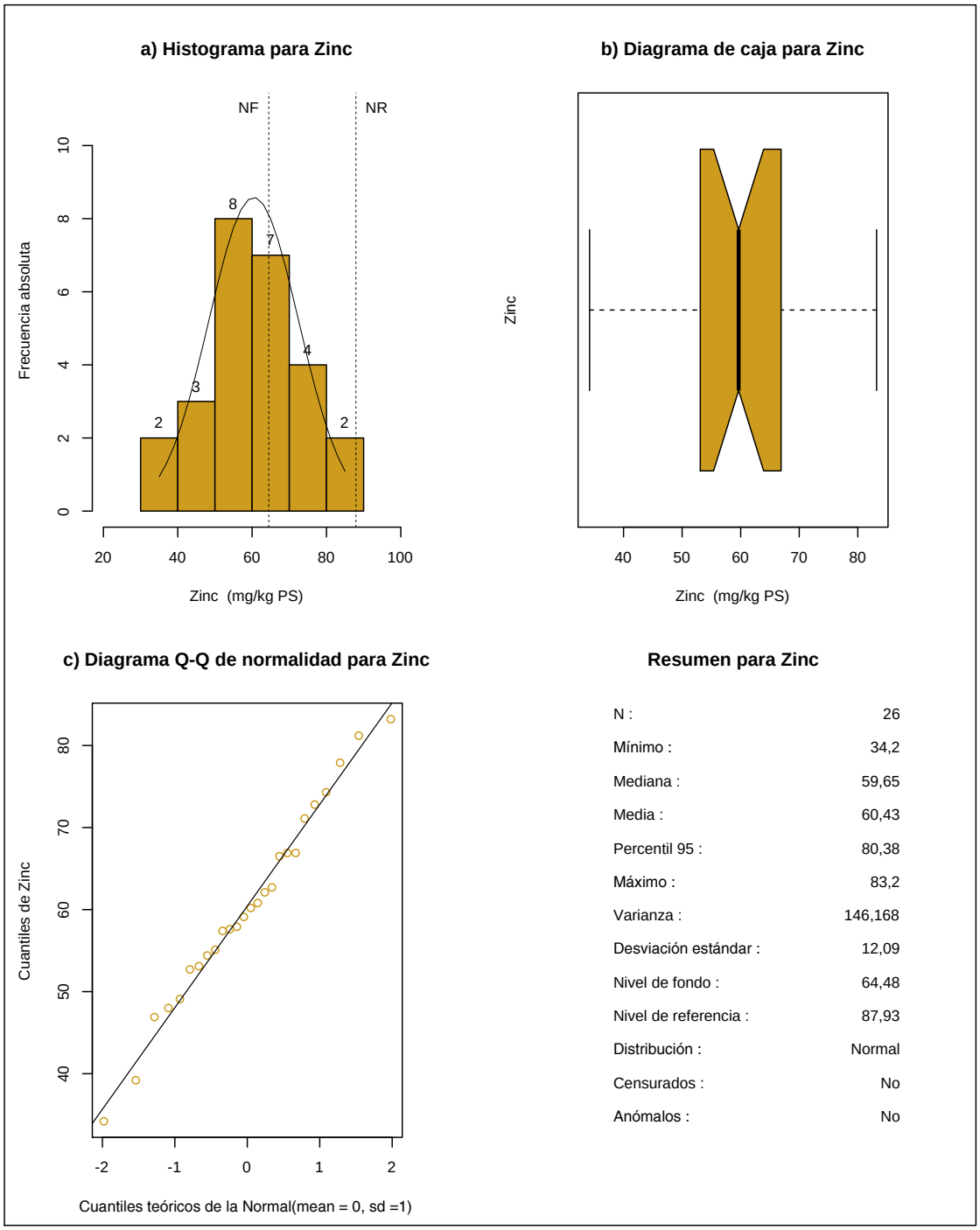

Fig. 2.21. Ficha estadística para zinc

Anexo 3

Reporte de resultados N° 039-2019-SSIM de la primera evaluación

Anexo 4

Reporte de resultados N° 147-2019-SSIM de la segunda evaluación