2020-I01-016348

INFORME N.° 251-2020-OEFA/DEAM-STEC

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

DE : **LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS**
Ejecutivo de la Subdirección Técnica Científica

LLOJAN CHUQUISENGO PICÓN
Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Energía

JORGE KELVIN ÁLVAREZ TEJADA
Especialista de Evaluaciones Ambientales

JUAN WALKER RUIZ CÁCERES
Especialista de evaluaciones ambientales en Energía

ASUNTO : Determinación de los valores de nivel de fondo y referencia para metales y metaloides de los suelos consociación de suelos denominada Tucarirani bajo.

CUE **:** 2020-01-0052

REFERENCIA **:** Planefa 2020

FECHA **:** Lima, 29 de diciembre de 2020

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted para informarle lo siguiente:

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 1.1. Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	La unidad fiscalizable Florencia - Tucari, distrito Carumas, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Florencia -Tucari (Etapa de Post cierre)
c.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2020/POI 2020 y la Evaluación ambiental de causalidad en el área de influencia de la unidad minera Florencia - Tucari
d.	Tipo de evaluación	Estudio especializado
e.	Periodo de ejecución	Del 5 de setiembre al 17 de octubre de 2020

Profesionales que aportaron a este documento:

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N.°	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ing. Químico	Gabinete
2	Llojan Chuquisengo Picon	Lic. Químico	Gabinete
3	Jorge Kelvin Alvarez Tejada	Biólogo	Gabinete
4	Juan Walker Ruíz Cáceres	Ing. Químico	Gabinete/campo

2. INTRODUCCIÓN

La actividad antropogénica degrada la calidad del suelo de muy diversas formas, una de ellas es el depósito no controlado de residuos que contienen elementos potencialmente tóxicos (EPT). Sin embargo, estos elementos también están presentes en el suelo en forma natural, especialmente en zonas ricas en minerales, por lo que es esencial determinar las concentraciones naturales que se conocen como valores de fondo, las cuales generalmente no representan riesgo para el ambiente y población, pues están formando compuestos químicos muy insolubles.

La cantidad de metales presentes en el suelo puede ser un indicador de la calidad ambiental de un determinado lugar, por tanto, el contenido total de estos metales es básico para estudiar los cambios que se pueden producir en el suelo por contaminación de actividades antropogénicas.

En tanto, el grado de contaminación de un suelo respecto a los metales que este contiene puede ser estimado, mediante la determinación de sus concentraciones y comparaciones con resultados de análisis previos (a la contaminación) o de análisis de suelos no contaminados.

El estudio se basa en determinar valores de nivel de fondo y referencia para metales en la consociación de suelos denominada Tucarirani bajo, del área de influencia de la unidad minera Florencia-Tucari, con la finalidad de obtener una herramienta de comparación para la evaluación de resultados de metales presentes en los suelos que no se contemplan en los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos, establecido en el Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM.

En ese sentido, la Dirección de Evaluación Ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), en el marco del Plan Anual de Evaluación y Fiscalización 2020 realizó este estudio con la finalidad de conocer las condiciones naturales del suelo específicamente los niveles de fondo y niveles de referencia para metales y metaloides.

Cabe resaltar que, el nivel de fondo se define como la concentración de una sustancia presente de forma sistemática en el medio natural, la cual no fue influenciada por actividades humanas localizadas en una determinada área; de esta manera, estos valores deberían permitir detectar la presencia de concentraciones no naturales en el suelo; asimismo, el nivel de referencia es un valor que permite diferenciar, con garantías suficientes, entre un suelo natural y un suelo alterado, de acuerdo con su comparación con el nivel de referencia; es decir, es un valor que permite asegurar que existe una concentración anormal de alguna sustancia en particular[1].

La metodología empleada para la obtención de los valores de nivel de fondo, fue el tratamiento estadístico mediante el software ProUCL 5.1 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA); este tratamiento estadístico se realizó en base

1 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.

a los resultados de laboratorio obtenidos de las muestras de suelo colectadas en las áreas de estudio.

Para lo cual se colectaron 15 muestras compuestas de suelo, en la consociación de suelos denominada Tucarirani bajo y se determinó las concentraciones de metales y metaloides a través de un laboratorio acreditado contratado por el OEFA. La información contenida sobre la calidad de suelo entorno a la unidad fiscalizable Florencia- Tucari constituirá un soporte técnico para futuras acciones de supervisión y fiscalización ambiental.

3. OBJETIVO

3.1. Objetivo general

Establecer valores de nivel de fondo y referencia para metales y metaloides de la consociación de suelos denominada Tucarirani bajo, del área de influencia de la unidad minera Florencia-Tucari.

3.2. Objetivos específicos

Caracterizar los suelos Tucarirani bajo del área de influencia de la UM Florencia – Tucari.

Determinar los valores de nivel de fondo y referencia para metales y metaloides de la consociación de suelos denominada Tucarirani bajo, utilizando el software Pro UCL 5.1.

Comparar los valores de nivel de fondo con los estándares de calidad ambiental para suelo (ECA para suelo – Uso industrial y los valores de la guía canadiense.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la consociación de suelos denominado Tucarirani Bajo, el cual se encuentra ubicado dentro del área de influencia de la unidad minera Florencia Tucari. Esta unidad de suelo se encuentra ubicada en la unidad hidrográfica Coralaque, específicamente, en la microcuenca Margaritani, entre las quebradas Apostoloni y Margaritani (Figura 4.1).

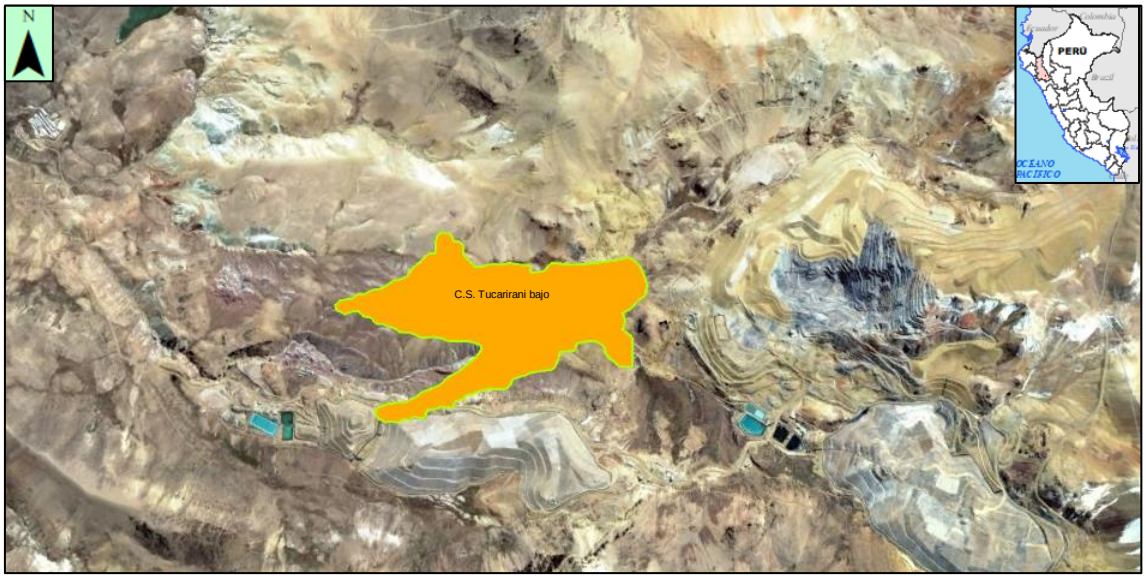


Figura 4.1. Mapa de ubicación del área de estudio

Asimismo, el área de estudio determinado para los niveles de fondo, se encuentra emplazado sobre un suelo clasificación taxonómica en el orden Entisols, suelos minerales menos desarrollados, reconociéndose los subordenes Orthents, que evidencia meteorización y erosión recientes, Fluvents, originado por depósitos de ríos y quebradas. Asimismo, el área presenta una consociación de suelo denominada Tucarirani bajo, pertenece al subgrupoTypic Cryofluvents, presenta una secuencia de horizontes AC-C, y como horizonte de diagnóstico el epipedón óchrico. El suelo es de origen fluvioglaciar donde se observa terrazas y lomadas[2].

Por otro lado, la unidad geológica y/o litoestatigrafia descrita por Aruntani SAC en su IGA[3], mencionan que el área de estudio, se encuentra emplazada sobre el Grupo Barroso, que compren un complejo de rocas volcánicas. Están constituidos principalmente por derrames lávicos de andesitas y riolitas grisáceas, con algunos horizontes conglomerádicos débilmente disturbados y alterados. Esta formación regionalmente considerada como grupo de edad Pliopleistocénico (Tercio superior- Cuaternario). Asimismo, esta zona presenta morrenas y depósitos Fluvio Glaciares[4] (Qp-mfg). Su litología es variada, aunque dominantemente de naturaleza volcánica y volcánico-clástico, con intercalaciones de areniscas, arcillas y otros detritos, dispuesta en capas gruesas de débil compactación, con tonos grises blanquecinos amarillentos (por oxidación e intemperismo). Por lo general estos depósitos se encuentran muy disectados (tipo morrenas solifluidas), razón por lo que han sido suficientemente diferenciados, incluyendo a los materiales fluvioglaciares que ocurren aún más dispersos.

[2] Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas unidad minera Florencia - Tucari, aprobado el 27 de setiembre de 2016 por Resolución Directoral N.° 286-2016-MEM-DGAAM.

[3] Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas unidad minera Florencia - Tucari, aprobado el 27 de setiembre de 2016 por Resolución Directoral N.° 286-2016-MEM-DGAAM.

[4] Se considera a los diferentes depósitos de origen glacial y fluvioglacial que ocurren rellenado o tapizando los fondo y las laderas bajas de la microcuenca, como consecuencia de las ultimas glaciaciones pleistocénicas.

5. METODOLOGÍA

La metodología empleada para la determinación de nivel de fondo y referencia para metales y metaloides en suelos, comprende los protocolos utilizados para la toma de muestras, la ubicación de los puntos de muestreo, parámetros evaluados, métodos de análisis, equipos utilizados, aseguramiento de la calidad y criterios de comparación.

5.1. Documentos técnicos utilizadas para la evaluación

La determinación de las áreas para los puntos de nivel de fondo y referencia para metales y metaloides en suelos se llevó a cabo tomando en cuenta los documentos listados en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Documentos técnicos usados para determinar las áreas para nivel de fondo y referencia

Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Guía para muestreo de suelos	Todo el documento	Perú	Ministerio del Ambiente	Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM	2014
Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos	Sección 1				
Manual de lineamientos y procedimientos para la elaboración y evaluación de «Informes de Identificación de Sitios Contaminados»	Parte A			No aplica	2015
Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo	Todo el documento			Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM	2017
Criterios para la gestión de sitios contaminados	Todo el documento			Decreto Supremo N.° 012-2017-MINAM	2017

5.2. Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo fue establecida tomando como base la tercera y cuarta modificación del plan de cierre de minas de la UM Tucari 2015[5] y 2016[6], en los cuales se describen las unidades de suelos y sus usos. Adicionalmente, se consideró los siguientes aspectos:

- Distribución de pendientes en el área de estudio
- Cuerpos de agua como posibles fuentes de transporte de metales y metaloides
- Ubicación de la zona de mineralización
- Geología local del área de estudio
- Ubicación de posibles fuentes de contaminación (pasivos ambientales mineros)

Se realizó una caracterización de suelos de la consociación de suelos Tucarirani bajo, considerando un total de 15 puntos de muestreo. La ubicación y distribución de los puntos se detalla en la Tabla 5.2.

[5] Tercera Modificación del Plan de Cierre de Minas UM Tucari, aprobado el 1 de octubre de 2015 por Resolución Directoral N.° 382-2015-MEM-DGAAM.

[6] Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas unidad minera Florencia - Tucari, aprobado el 27 de setiembre de 2016 por Resolución Directoral N.° 286-2016-MEM-DGAAM.

Tabla 5.2. Distribución de puntos de muestreo de suelos

Puntos de muestreo	Submuestras muestreo	Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K			Ubicación
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s. n. m.)	
NF1-1	NF1-1-1	371214	8167439	4813	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 60 m al sureste del punto de muestreo agua superficial E-2.
	NF1-1-2	371211	8167436	4813	
	NF1-1-3	371213	8167431	4812	
NF1-2	NF1-2-1	371165	8167449	4805	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 30 m al sur del punto de muestreo agua superficial E-2.
	NF1-2-2	371167	8167444	4804	
	NF1-2-3	371160	8167440	4806	
NF1-3	NF1-3-1	371112	8167458	4808	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 60 m al suroeste del punto de muestreo agua superficial E-2.
	NF1-3-2	371102	8167453	4808	
	NF1-3-3	371094	8167460	4806	
NF1-4	NF1-4-1	371055	8167456	4798	Punto de muestreo ubicado en margen izquierda de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 40 m al sur, y a 95 m al sureste de la confluencia entre las quebradas Margaritani y Apostoloni.
	NF1-4-2	371048	8167457	4804	
	NF1-4-3	371046	8167460	4802	
NF1-5	NF1-5-1	371022	8167475	4802	Punto de muestreo ubicado en margen izquierda de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 30 m al sur, y a 56 m al sureste de la confluencia entre las quebradas Margaritani y Apostoloni.
	NF1-5-2	371015	8167478	4802	
	NF1-5-3	371023	8167482	4800	
NF1-6	NF1-6-1	370967	8167485	4788	Punto de muestreo ubicado aproximadamente a 20 m al sur de la confluencia entre las quebradas Margaritani y Apostoloni
	NF1-6-2	370972	8167488	4793	
	NF1-6-3	370972	8167480	4796	
NF1-7	NF1-7-1	371001	8167575	4795	Punto de muestreo ubicado en margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 30 m al norte, y a 65 m al noreste de la confluencia entre las quebradas Margaritani y Apostoloni
	NF1-7-2	370990	8167575	4799	
	NF1-7-3	370997	8167569	4798	
NF1-8	NF1-8-1	370969	8167612	4796	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 75 m al oeste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-8-2	370980	8167616	4804	
	NF1-8-3	370986	8167606	4801	
NF1-9	NF1-9-1	370977	8167672	4801	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 90 m al noroeste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-9-2	370973	8167675	4806	
	NF1-9-3	370982	8167677	4805	
NF1-10	NF1-10-1	371012	8167718	4802	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 120 m al noroeste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-10-2	371005	8167721	4800	
	NF1-10-3	371016	8167724	4798	
NF1-11	NF1-11-1	371067	8167761	4804	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 160 m al norte del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-11-2	371074	8167769	4802	
	NF1-11-3	371081	8167767	4802	
NF1-12	NF1-12-1	371153	8167788	4808	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 200 m
	NF1-12-2	371157	8167782	4802	

Puntos de muestreo	Submuestras muestreo	Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K			Ubicación
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s. n. m.)	
	NF1-12-3	371163	8167789	4807	al noreste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
NF1-13	NF1-13-1	371298	8167737	4809	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 280 m al noreste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-13-2	371301	8167726	4811	
	NF1-13-3	371287	8167728	4808	
NF1-14	NF1-14-1	371162	8167675	4805	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 130 m al noreste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-14-2	371159	8167665	4802	
	NF1-14-3	371154	8167675	4801	
NF1-15	NF1-15-1	371089	8167606	4797	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 35 m al sureste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-15-2	371095	8167597	4797	
	NF1-15-3	371086	8167597	4799	

Se evaluaron 15 puntos de muestreo distribuidos en la consociación de suelos Tucarirani Bajo. El muestreo de suelo se realizó a una profundidad de 0-0,10 m. El tipo de muestra de suelo fue compuesta, es decir que cada punto de muestreo comprendió 3 submuestras, utilizando el modelo de distribución en forma de zigzag con espacios de 5 metros entre cada submuestra, dependiendo de las condiciones del terreno. En el Anexo 1, se muestra el mapa de distribución con los detalles de cada submuestra.

5.3. Equipos utilizados durante el muestreo

Los equipos utilizados para el muestreo de suelo se detallan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Equipos y materiales utilizados el muestreo de suelo

Equipos/ Materiales	Marca	Modelo	Serie
Equipo de posicionamiento – GPS	Garmin	Montana 680	4HU005028
Cámara fotográfica digital semi profesional	Canon	EOS-7D	32021001751
Cámara fotográfica digital acuática	Canon	D3BL	82051001601
Equipo de posicionamiento GPS	GARMIN	MONTANA 680	4HU005015
Palas de mano y baldes (plástico) donde se hizo la homogenización de las muestras	---	---	---

5.4. Parámetros y métodos de análisis

Para el presente estudio se consideró en el suelo la determinación de la concentración de metales considerando métodos de análisis de laboratorio acreditados ante el Instituto Nacional de Calidad (Inacal), los cuales son presentados en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Parámetros y métodos de análisis en muestras de suelo

Matriz	Parámetro	Laboratorio	Requerimiento de servicio	Observaciones
Suelo	Metales totales	AGQ Perú S.A.C.	N.° de RS 812-2020	Incluye mercurio
	Caracterización	TYPSA PERÚ S.A.C.	N.° de OS 01545-2020-S	Incluyó análisis físico químicos (carbonato de calcio, conductividad, materia orgánica y pH), y clase textural

5.5. Procesamiento de datos

Las concentraciones de metales y metaloides en el suelo obtenidas del laboratorio fueron ordenados y sistematizados por parámetro para su análisis posterior aplicando los métodos estadísticos, a fin de determinar los niveles de fondo (NF) y niveles de referencia (NR).

El nivel de fondo o límite superior de confianza (*Upper Confidence Limit* – 95 % UCL) es considerado como la cota superior del intervalo de confianza para la media poblacional de algún contaminante en suelos naturales. El nivel de referencia o límite superior de tolerancia (*Upper Tolerance Limit*- UTL 95-95 %) está definido como la cota superior del intervalo de confianza para el percentil 95, diseñado para contener un porcentaje de la población (95 %) de las concentraciones de fondo (valor umbral), (USEPA, 2002). Figura 5.1.

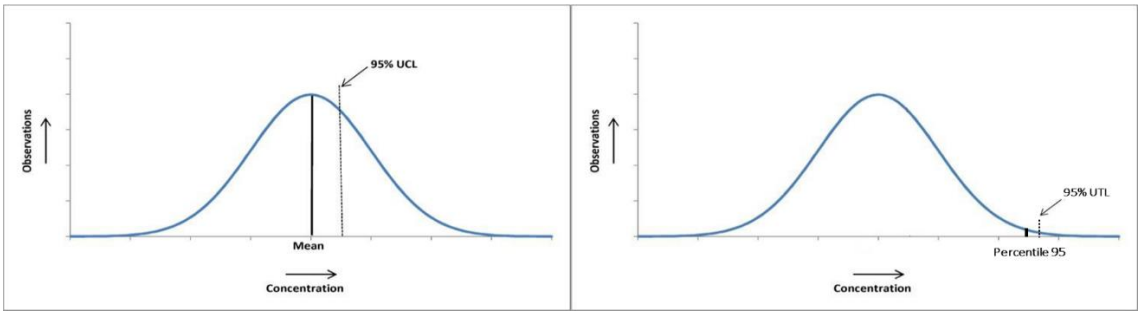


Figura 5.1. Representación gráfica **a.** Nivel de fondo (95 % UCL) y **b.** Nivel de referencia (UTL 95-95 %).
Modificado de Klee (2014).

El cálculo de los valores de niveles de fondo (NF) y niveles de referencia (NR) fue realizado por un tratamiento estadístico mediante el software ProUCL 5.1 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA); asimismo, de manera complementaria fue utilizado el software libre «R» (Helsel, 2013), para la validación de datos y elaboración de gráficas.

Asimismo, el tratamiento estadístico se realizó 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 15 valores de concentración de metales y metaloides en el suelo Tucarirani bajo. A continuación, en la Figura 5.2, se presenta el esquema para el tratamiento de datos:

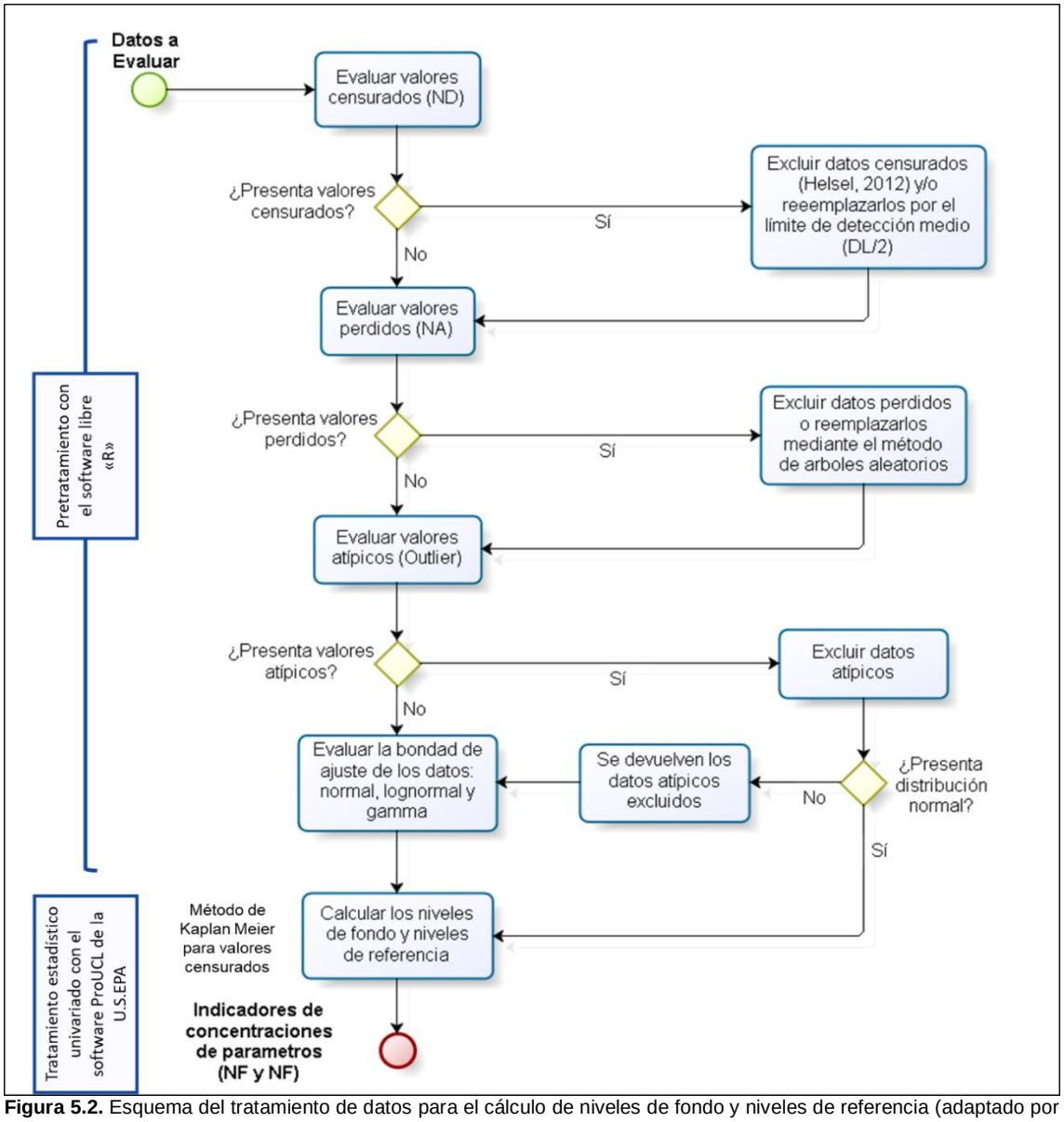


Figura 5.2. Esquema del tratamiento de datos para el cálculo de niveles de fondo y niveles de referencia (adaptado por Cáceres, 2019)

El procedimiento para la obtención de los valores se detalla a continuación:

5.5.1. Identificación de valores anómalos o *outliers*

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2006), los valores anómalos o atípicos son mediciones del conjunto de una muestra que son extremadamente grandes o pequeños y que pudiera no tener una relación con el resto de datos recogidos.

El efecto que surge de incluir estos valores anómalos en un conjunto de datos es que pueden distorsionar los test estadísticos utilizados para la determinación de valores de fondo (EPA, 2013). Asimismo, Helsel (2012) manifiesta que la presencia de valores anómalos en un conjunto de datos tiende a destruir la normalidad de la serie de datos, en otras palabras, un conjunto de datos con valores anómalos rara vez sigue una distribución normal.

Por otro lado, estos valores anómalos pueden ser originados por errores sistemáticos en la etapa de muestreo, en el análisis químico de las muestras, o representar valores de otra población (Diamond *et al*., 2009). Es por esto que el propósito de este análisis es eliminar, el efecto de este tipo de posibles errores en la estimación de las concentraciones de fondo, desde un punto de vista univariante.

Los potenciales valores anómalos se identificaron mediante representaciones gráficas, como el diagrama de cajas (ISO 19258), en el cual se puede identificar visualmente si los datos observados son mucho mayores o menores al resto. En los diagramas empleados en los gráficos, los valores anómalos son representados mediante puntos.

Una vez identificados los potenciales valores anómalos, se aplicaron test estadísticos que permiten determinar de manera objetiva si se trata efectivamente de este tipo de valores. La EPA (2013) recomienda el uso de 2 test, el de Dixon (1953), y el test de Rosner (1975), los cual son empleados para tamaños de muestra menores y mayores a 25, respectivamente.

5.5.2. Tratamiento de datos por debajo del límite de cuantificación o censurados

Es común que en muestras ambientales los datos obtenidos de los análisis químicos pueden estar por debajo del límite de cuantificación del método de análisis de laboratorio para cada parámetro evaluado (EPA, 2006). En estos casos cuando los resultados no son detectados, la verdadera concentración de los datos es desconocida debido a que se encuentra entre cero y su límite de cuantificación. Asimismo, los resultados de las concentraciones de algunos parámetros, presentaron valores por debajo de su respectivo límite de cuantificación, por este motivo se vio necesario el uso de un método que permita tratar estadísticamente los datos cuando haya este tipo de valores dentro de un conjunto de datos.

Existen diferentes formas de evaluar este tipo de datos, la EPA (2013) y Helsel (2012) no recomiendan el uso del método de sustitución por el valor del límite de cuantificación o la mitad del mismo, sino que recomienda el uso de un método robusto para tal fin, como el método de Kaplan-Meier (1958), el cual ha sido empleado en este estudio y 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 (Klee, 2014).

Una vez determinados los valores anómalos y la forma de abordar el conjunto de datos con resultados por debajo del límite de cuantificación del método de análisis de laboratorio, se determinó el comportamiento de cada uno de los metales evaluados de forma individual (tratamiento estadístico univariante), lo que permitió obtener los valores buscados de los niveles de fondo.

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 han realizado gráficas de cajas, de histogramas y gráficos de probabilidad, los cuales se describen a continuación:

- ✓ **Gráfico de cajas y bigotes:** Esta gráfica es un instrumento que permite mostrar las características de una muestra de datos. La parte rectangular del diagrama se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior, cubriendo la mitad central de la muestra.

La línea del centro dentro de la caja indica la localización de la mediana de la muestra. Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores mínimo y máximo en la muestra, excepto por cualquier punto alejado o muy alejado, los cuales son graficados por separado. Los puntos alejados son aquellos que se encuentran a más de 1,5 veces el rango intercuartílico por arriba o por debajo de la caja y se muestran en forma de puntos.

- ✓ **Histograma:** Esta gráfica despliega el histograma de frecuencias para cada parámetro evaluado. La gráfica despliega el número de datos en cada intervalo.

- ✓ **Gráfico de probabilidad normal (o gráfico Q-Q normal):** Se presenta para el global de los datos y para cada una de las unidades homogéneas. Este gráfico despliega la gráfica de probabilidad normal para cada parámetro evaluado. Para generar esta gráfica, los datos se ordenan de menor a mayor. Se han graficado versus los valores (i-0,375) / (n+0,25), en donde n es el tamaño de la muestra. Si los datos provienen de una distribución normal, los puntos deberán quedar aproximadamente a lo largo de una línea recta. Para juzgar que tan cerca de una línea recta se encuentran, se ha sobrepuesto en la gráfica una línea de referencia. La línea de referencia se ha ajustado a la gráfica utilizando mínimos cuadrados.

5.5.3. Determinación del nivel de fondo y nivel de referencia

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2002) define 2 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.

Según la normativa ambiental peruana, el nivel de fondo se define como la concentración en el suelo de los químicos que no fueron generados por la actividad objeto de análisis y que se encuentran en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la actividad bajo análisis (Minam, 2014).

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 2 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[7] 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

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

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
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):

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

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, cuando el conjunto de datos se ajusta a una distribución log normal, la expresión para determinar la cota superior de la media es la siguiente (U.S. EPA, 2013):

$$C_M = \exp\left(\bar{y} + 0{,}5s_y^2 + s_y H_{1-\alpha}/\sqrt{n-1}\right) \ldots\ldots\ldots (3)$$

Donde:

$\bar{y}$: Es la media aritmética de la muestra de los datos transformados logarítmicamente.
s_y : Desviación estándar de la muestra de n datos transformados logarítmicamente.
$H_{1-\alpha}$: Es el estadístico H propuesto por Land (1975)

Cuando haya un conjunto de datos que no se ajustan a ninguno de los tipos de distribución vistos anteriormente, para estos casos en particular se realizó una estimación no paramétrica de la cota superior de la media a partir del conjunto de datos disponibles. En estos casos, la cota superior de la media se calculó empleando el método bootstrap propuesto por Efron (1981), el cual es un método no paramétrico que utiliza técnicas de remuestreo[8] para reducir el sesgo en las estimaciones y construir intervalos de confianza aproximados para los parámetros tales como la media y los percentiles (U.S. EPA, 2013).

[8] El método *bootstrap* es una técnica de remuestreo que no requiere el supuesto de normalidad y acepta muestras de cualquier tamaño para la estimación de intervalos. Esta técnica permite estimar la variabilidad de la muestra a través

- **Nivel de referencia - NR (percentil 95)**

Se denomina nivel 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 pésimo, 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):

$$C_p = (\bar{y} + K_{(n,\alpha,p)} \times s_y)^4 \ \ldots\ldots\ldots (5)$$

Donde :

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

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

Por otro lado, cuando el conjunto de datos se ajusta a una distribución log normal, la expresión para determinar la cota superior del percentil 95% es la siguiente (U.S. EPA, 2013*)*:

$$C_p = \exp\left(\bar{y} + K_{(n,\alpha,p)} * s_y\right) \ \ldots\ldots\ldots (6)$$

Donde:

$\bar{y}$: Media aritmética de los datos transformados logarítmicamente

s_y : Desviación estándar de n datos transformados logarítmicamente.

Por otra parte, se tiene el caso que el conjunto de datos no se ajusta a alguna distribución conocida, en esa situación se emplean métodos robustos o no paramétricos.

de la toma de sucesivas muestras con reemplazo, de la muestra original. *Fuente: Intervalos de confianza bootstrap del índice de biodiversidad de Shannon. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2001, 18: 222-234.*

5.6. Criterios de comparación

La clasificación de los parámetros edáficos como potencial de hidrógeno (pH) y materia orgánica se realizó tomando en cuenta el Anexo N.° IV «Guía para la clasificación de los parámetros edáficos» del Decreto Supremo N.° 017-2009-AG; mientras que, la conductividad eléctrica se clasificó en base al Soil Survey Manual (2017) y el nivel de $CaCO_3$ se clasificó de acuerdo con la tabla de rangos interpretativos propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2012).

Los resultados analíticos de los metales arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo, obtenidos del muestreo de nivel de fondo, fueron comparados con los ECA para suelo de uso industrial, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM. Si las concentraciones de fondo de estos metales superasen dicha normativa, los resultados que se obtengan en futuras evaluaciones de sitios contaminados dentro del área evaluada, serán comparados con los valores de fondo, de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.° 012-2017-MINAM.

En el caso de aquellos metales como el cobre, cromo, molibdeno, vanadio y zinc, entre otros que pueden ser asociadas a futuras actividades mineras en el área y no se encuentran reguladas en los ECA para suelo, la comparación referencial se realizó con las pautas canadienses de calidad del suelo de uso industrial para la protección del medio ambiente y salud humana (Canadian Environmental Quality Guidelines. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human of use Indutrial - CEQG-SQG[9]) (en adelante guía canadiense); conforme a lo dispuesto en el ítem 1.4 de la guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos, aprobada mediante Resolución Ministerial N.° 085-2014-MINAM.

6. RESULTADOS

A continuación, se describen las características edáficas, se detallan los valores de nivel de fondo y nivel de referencia del suelo evaluado. Adicionalmente, se presenta una comparación referencial con los ECA para suelo y los valores guía canadiense para uso industrial.

Los resultados de las concentraciones de todas las muestras compuestas se adjuntan en el Anexo 2 y los resultados del análisis estadístico del estudio especializado para el área de estudio se presentan en el Anexo 3. El Anexo 4 contiene las representaciones en figuras, el detalle de los valores de nivel de fondo; además, gráficos ilustrativos de las distribuciones estadística de cada metal evaluado.

Los resultados de los parámetros edáficos presentaron un pH ultra ácidos (pH<3,5) a fuertemente ácidos (pH entre 5 - 5,5), no salinos, sin contenidos de carbonatos de calcio (menores al Límite de Cuantificación del método de ensayo del laboratorio), con mediano contenido de materia orgánica, asimismo, presentaron una clase textural franco arcilloso arenoso.

[9] Canadian Council of Ministers of the Environment (2018). *Canadian Environmental Quality Guidelines. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human of use Agricultural (*Valores guía de calidad ambiental de Canadá para la protección del medio ambiente y salud humana de uso agrícola).

El análisis estadístico determinó que los elementos como el cadmio, molibdeno, arsénico, mercurio, plata, berilio, antimonio, selenio, talio, boro, bismuto, litio y estaño presentaron concentraciones por debajo del límite de cuantificación del método de análisis de laboratorio en más del 60 % de los puntos evaluados, por lo tanto, no fue posible determinar los valores de nivel de fondo y nivel de referencia.

De esta manera, los elementos como plata, aluminio, arsénico, boro, bario, calcio, cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, potasio, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio, níquel, fósforo, plomo, antimonio, selenio, estaño, estroncio, titanio, vanadio y zinc no presentaron valores censurados; mientras que berilio y mercurio si presentaron valores censurados. Por otro lado, la plata, cobalto, cromo, cobre, hierro, potasio, litio, manganeso, plomo, antimonio, selenio, estroncio, berilio y mercurio presentaron valores anómalos u *outliers*.

De los 30 elementos considerados en el análisis estadístico, 25 presentaron una distribución normal, 4 Gama y 1 no paramétrico. En la Tabla 6.1, se presenta un resumen del cálculo de los valores de nivel de fondo y referencia y su distribución por cada elemento analizado.

Tabla 6.1. Valores de nivel de fondo y nivel de referencia y su distribución del suelo Tucarirani bajo

N.°	Metal	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Distribución
1	Ag	0,206	0,278	Normal
2	Al	24892	38456	Normal
3	As	135,4	249,4	Normal
4	B	11,87	15,8	Normal
5	Ba	572	992,8	Gamma
6	Ca	1812	2984	Gamma
7	Cd	0,0519	0,116	Normal
8	Co	4,989	10,69	Normal
9	Cr	11,44	18,42	Normal
10	Cu	30,77	42,67	Normal
11	Fe	49561	54177	Normal
12	K	2863	3436	Normal
13	Li	4,951	8,106	Normal
14	Mg	2318	3506	Normal
15	Mn	569	962	Gamma
16	Mo	1,599	2,253	Normal
17	Na	464,4	771,8	Normal
18	Ni	4,243	8,557	Normal
19	P	0,998	1	No Parametric
20	Pb	84,2	167,8	Normal
21	Sb	0,53	0,753	Normal
22	Se	1,542	1,762	Normal
23	Sn	1,126	1,6	Normal
24	Sr	145,9	231,5	Normal
25	Ti	393,3	863,8	Normal
26	Tl	2,914	4,628	Gamma
27	V	83,54	106	Normal
28	Zn	36,46	58,39	Normal
29	Be	0,237	0,349	Normal
30	Hg	0,485	1,056	Normal

De la comparación referencial de los niveles de fondo y niveles de referencia de metales y metaloides en este suelo con los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo uso industrial se observó que el arsénico superó los valores establecido en la norma referida; además, este elemento supera el valor de la guía canadiense (Tabla 6.2).

Tabla 6.2. Comparación referencial de los niveles de fondo con los ECA para suelo y la guía canadiense

Parámetros	Nivel de fondo del suelo Tucarirani bajo	Nivel de referencia del suelo Tucarirani bajo	Estándares de calidad ambiental para suelo (ECA), aprobado mediante Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM	*Canadian Council of Ministers of the Environment (2018). Canadian Environmental Quality Guidelines. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human*
(mg/kg PS)			Uso industrial	*Use industrial*
Arsénico	135,4	249,4	140	12
Bario	572	992,8	2000	2000
Cadmio	0,0519	0,116	22	22
Mercurio	0,485	1,056	24	-
Plomo	84,2	167,8	800	-
Cromo	11,44	18,42	-	84
Cobre	30,77	42,67	-	91
Molibdeno	1,599	2,253	-	40
Zinc	36,46	58,39	-	410
Vanadio	83,54	106	-	130
Cobalto	4,989	10,69	-	300
Plata	0,206	0,278	-	40
Níquel	4,243	8,557	-	89
Berilio	0,237	0,349	-	8

(-): No presenta valor para el parámetro dentro de la normativa.
Nivel de fondo y/o Nivel de referencia supera el ECA para suelos de uso industrial del D.S. N.° 011-2017-MINAM.
Nivel de fondo y/o Nivel de referencia supera los valores de la Guía canadiense (actualización 2018).

7. DISCUSION

Durante la evaluación de campo, no se evidenciaron actividades ligadas a la UM Florencia -Tucari que evidencien indicios de alteración de las áreas donde se tomaron las muestras de suelo para determinar niveles de fondo y de referencia, cabe resaltar que estar áreas se ubicaron dentro del tipo de suelo Tucarirani Bajo (Figura 7.1).

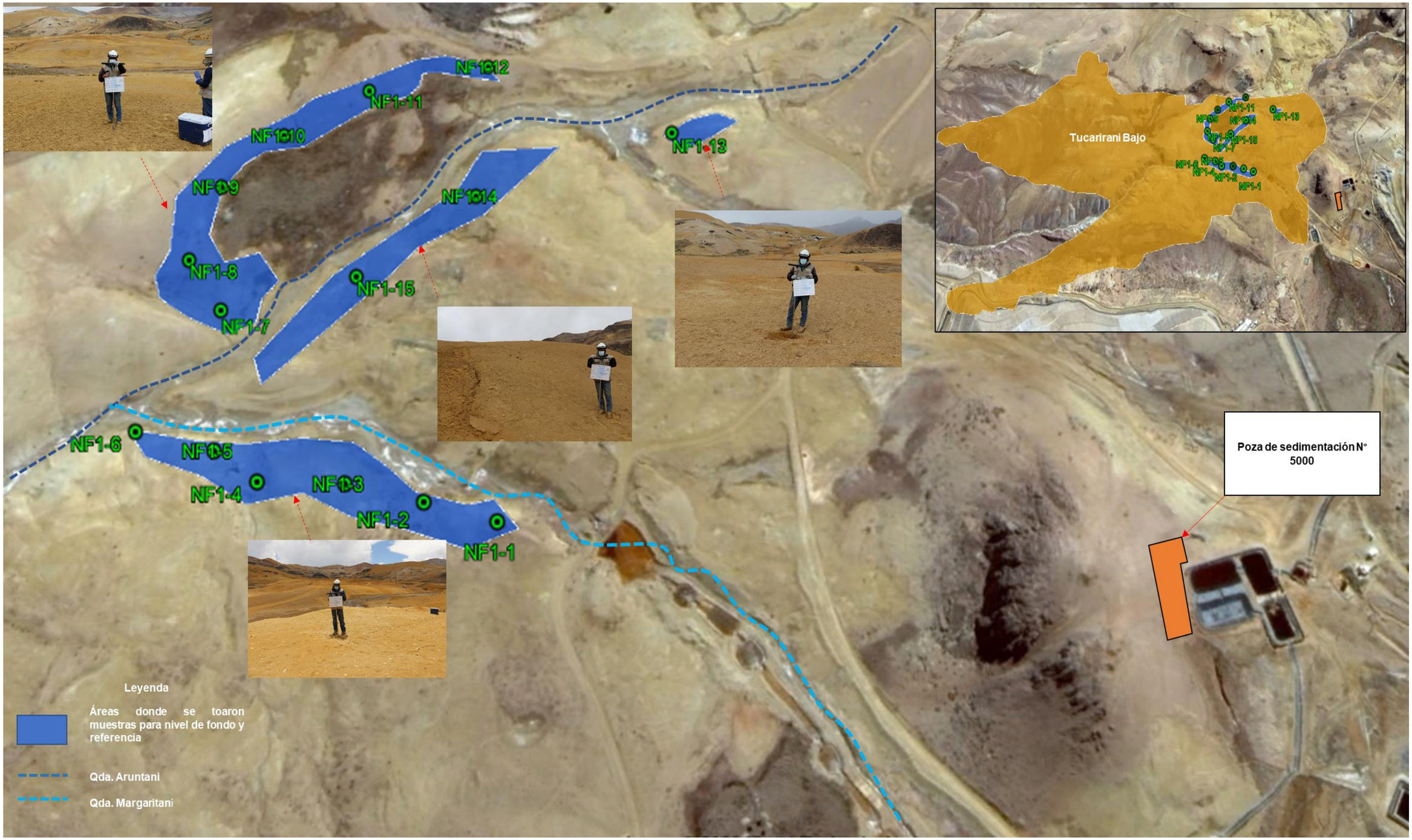


Figura 7.1. Áreas determinar niveles de fondo y de referencia emplazadas sobre el tipo de suelo Tucarirani Bajo

Se tiene que el arsénico presentó valores de nivel de fondo y de referencia que superó el Estándares de calidad ambiental para suelo (ECA) de uso industrial, 2017, y el el valor de la guía canadiense; mientras que los parámetros edáficos señalaron un suelo ultra ácido, con escasa salinidad y sin carbonatos; estas últimas características fisicoquímicas son similares a lo mencionado por Aruntani SAC en sus IGA[10] cuando hace referencia al tipo de suelo Tucarirani Bajo[11], suelo que fue seleccionado para determinar los valores de nivel de fondo y de referencia.

Asimismo, en el presente estudio se realizó la comparación de los valores de nivel de fondo y referencia con los valores medio de la corteza de los elementos aluminio, arsénico, cadmio, calcio, cobalto, cobre, níquel, hierro, plomo y zinc (Figura 7.2).

10 Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas unidad minera Florencia - Tucari, aprobado el 27 de setiembre de 2016 por Resolución Directoral N.° 286-2016-MEM-DGAAM.

11 Aruntani en su Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas unidad minera Florencia - Tucari, aprobado el 27 de setiembre de 2016 por Resolución Directoral N.° 286-2016-MEM-DGAAM, menciona que el Tipo de suelo Tucarirani Bajo presenta pH extremadamente ácidos (pH: 4,24 a 4,08), no salinos (CE, menos a 2 dS/m y sin carbonatos.

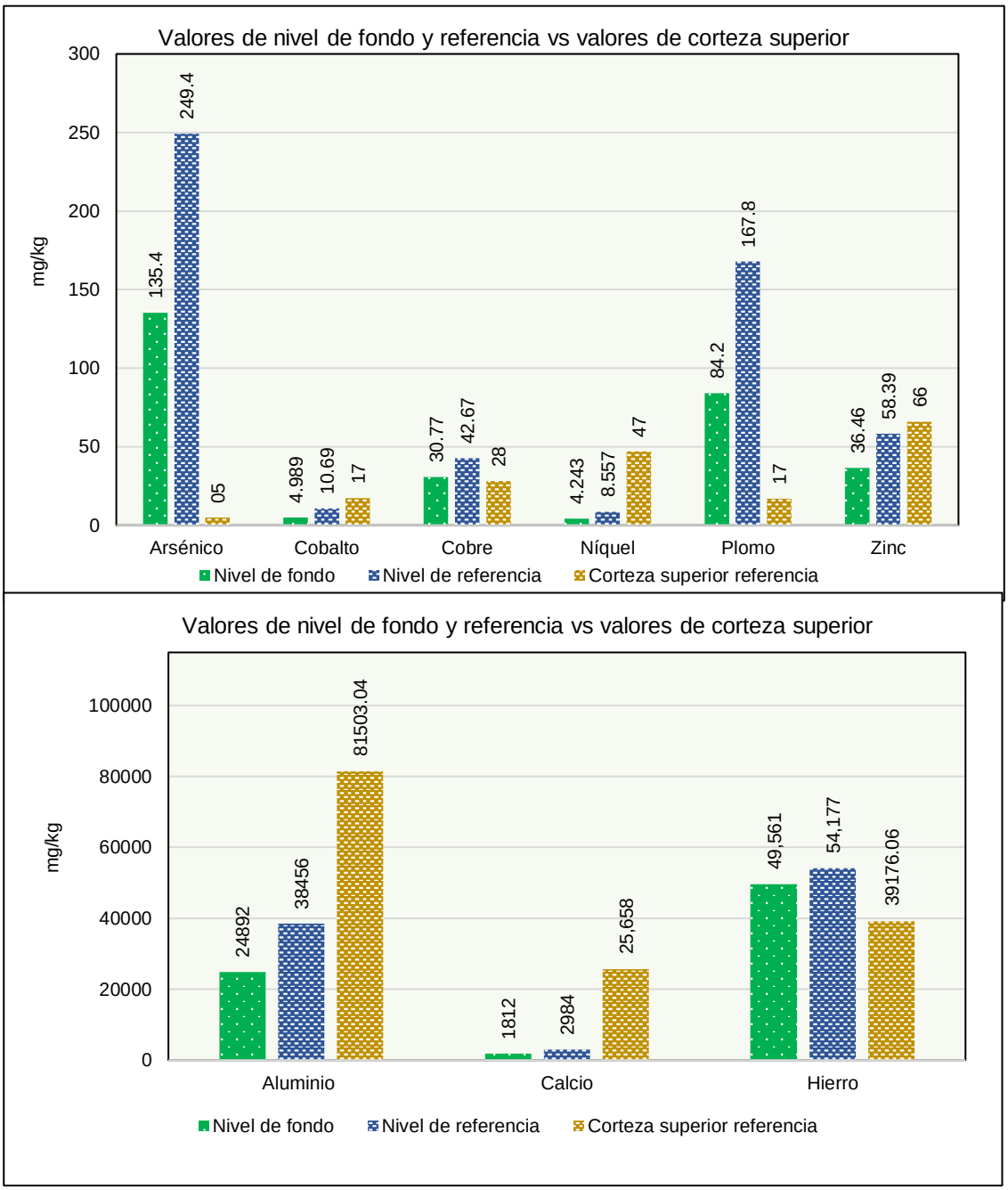


Figura 7.2. Comparación de los valores de nivel de fondo y de referencia con los valores de la corteza terrestre para los metales **a)** arsénico, cobalto, cobre, níquel, plomo y zinc y **b)** aluminio calcio y hierro

En la Figura 7.2, Se observó que los valores de nivel de fondo y de referencia fueron mayores a los valores de la corteza terrestre en los elementos arsénico, cobre[12], plomo[13] y

[12] El cobre se encuentra en todas las rocas, principalmente en intrusivas básicas e intermedias. En el suelo puede sufrir procesos de adsorción, oclusión y coprecipitación, puede formar complejos y quelatos orgánicos o ser fijado por los microorganismos, en general, tiene una movilidad baja (De Haan y Zwerman, 1978; Kabata – Pendias y Pendias, 1984; Andreu, 1991).

[13] El plomo es relativamente inmóvil y persistente en el suelo si se encuentra como haluro, hidróxido, óxido, carbonatos (cerusita), sulfatos (anglesita), etc. (Silviera, 2003). Cuando se libera al suelo, normalmente se convierte desde las formas solubles a los compuestos relativamente insolubles (sulfatos o fosfatos).

hierro[14]; estos elementos tendrían una mayor concentración por su origen litológico (material parental) sobre el cual los suelos se han formado, producto de la meteorización y su transporte (Alloway, 1990; Kabata Pendias y Pendias, 2001; Salonen y Korkka-Niemi, 2007). Tucari se encuentran en el Distrito Minero Aruntani ubicado en la provincia y departamento de Puno en el límite del departamento de Moquegua. Este yacimiento se encuentra en la base del Grupo Barroso conformado por domos félsicos y estratovolcanes de traquiandesita de edades que van desde 8.3, 7.0, 7.1, 6.6 Ma (France et al. 1985, Bradfor 1999 en Barreda et al., 2004).

Se precisa que los valores de nivel de fondo y de referencia del calcio fueron notoriamente inferiores a los valores de la corteza terrestre, estas concentraciones guardan relación con las características del suelo, puesto que en la presenta evaluación se registró porcentajes de carbonatos de calcio menores al límite de cuantificación del método de ensayo del laboratorio. Asimismo, los valores de pH (3,22 a 5, 27) registrados en las áreas de evaluación confirman que la presencia de calcio en la zona es escasa.

Los suelos ricos en carbonatos y con un pH de 8 tienen gran cantidad de carbonato cálcico (CaCO3), sin embargo, los suelos con pH 8,5 tienen carbonato sódico (Na2CO3) (Jordá et al., 2004). La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de altos valores de pH, en los que tienden a precipitar los metales pesados (Primo y Carrasco, 1981).

8. CONCLUSIONES

El suelo Tucarirani Bajo presentó una textura franco arcilloso arenoso, libre de sales, ultra ácidos a fuertemente ácidos, libres de carbonatos, debido a los diversos tipos de rocas que conforman el material parental; asimismo, presenta un contenido de materia orgánica entre bajo a medio.

Los valores de nivel de fondo y referencia calculados (mg/kg) en el suelo Tucarirani bajo fueron: Ag (0,206; 0,278), Al (24892; 38456), As (134,4; 249,4), B (11,87; 15,8), Ba (572; 992,8), Ca (1812; 2984), Cd (0,0519; 0,116), Co (4,989; 10,69), Cr (11,44; 18,42), Cu (30,77; 42,67), Fe (49561; 54177), K (2863; 3436), Li (4,951; 8,106), Mg (2318; 3506), Mn (569; 962), Mo (1,599; 2,253), Na (464,4; 771,8), Ni (4,243; 8,557) y P (0,998; 1), Pb (84,2; 167,8), Sb (0,53; 0,753), Se (1,542; 1,762), Sn (1,126; 1,762), Sr (145; 231,5), Ti (393,3; 863,8), Tl (2,914; 4,628), V (83,54; 106), Zn (36,46; 58,39), Be (0,237; 0,349) y Hg (0,485; 1,056).

El valor de nivel de fondo y referencia del arsénico fue el único elemento que superaron el Estándares de calidad ambiental para suelo (ECA) de uso industrial (Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM) y el valor de la guía canadiense (*Canadian Environmental Quality Guidelines. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human of use industrial - CEQG-SQG*).

[14] En relación con la presencia de elevadas concentraciones de Fe es una tendencia natural de los suelos (Bowen, 1979).

9. REFERENCIAS

- Alloway, B.J. (1990) Heavy Metals in Soils; Blackie Academic & Professional: London, UK.
- Andreu, A.V. (1991). Contenido y Evolución de Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Ni y Zn en suelos de las Comarca de l'Horta y la Ribera Baixa (Valencia). Universitat de València (Facultat de Farmàcia).
- Bowen, H.J.M. (1979). "Environmental Chemistry of the Elements." Academic Press, London.
- Brown, S., Christensen, B., Lombi, E., McLaughlin, M., McGrath, S., Colpaert, J., Vangronsveld, J. (2005). An inter-laboratory study to test the ability of amendments to reduce the availability of Cd, Pb, and Zn in situ. Environmental Pollution, 138, 34–45.
- 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.
- De Haan, F. A. M. y Zwerman, P. J. (1978). Soil Chemistry. A-Basic elements. Elsevier, 10, 192272.
- Diamond D., Baskin D., Brown D., Lund L., Najita J., and Javandel I. (2009). Analysis of Background Distributions of Metals in the Soil at Lawrence Berkeley National Laboratory. University of California. Environmental Restauration Program. LBNL-1782E. p. 1-15.
- Dixon, W.J. (1953). Processing Data far Outliers. Biometrics 9: 74-89.
- Efron, B. (1981). Censored Data and Bootstrap. Journal of American Statistical Association, Vol. 76, pp.312-319.
- Helsel, D.R. (2012). Statistics far Censored Environmental Data Using Minitab and R.Second Edition.John Wiley and Sons, NY.
- Helsel, D.R. (2013). Nondetects and Data Analysis for Environmental Data, NADA in R.
- ISO 19258:2018. Soil quality — Guidance on the determination of background values
- Jordá, J.D., Juárez, M., Sánchez, J.J., Sánchez, A. (2004). Diagnóstico del potencial nutritivo delsuelo. Publicaciones de la Universidad de Alicante. 86.
- Kabata – Pendias, A. y Pendias, H. (1984). Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, 315.

- Kabata Pendias, A.; Pendias, H. (2001). Trace Elements in Soils and Plants; CRC Press Inc.: Boca Raton, FL, USA.

- Kaplan, E.L. and Meier, O. (1958). Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. Journal of the American Statistical Association, Vol. 53. 457-481.

- Klee, R. (2014). Guidance for calculating the 95% Upper Confidence Level for Demonstrating Compliance with the Remediation Standar Regulations. State of Connecticut Department of Energy and Environmental Protection.

- Land, C. E. (1975). Tables of Confidence Limits for Linear Functions of the Normal Mean and Variance. In Selected Tables in Mathematical Statistics, Vol. 111, American Mathematical Society, Providence, R.I., pp. 385-419.

- Minam, 2014. Guía para el Muestreo de Suelos y Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos aprobado mediante Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM, aprobado el 9 de abril de 2014.

- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura - FAO. (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo: Metodología de Cálculo. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. México. 53p.

- Primo, E.Y. Carrasco, J.M. (1981). Química agrícola I: Suelos y fertilizantes, editorial Alhambra, España.

- Rosner, B. (1975). On the detection of many outliers. Technometrics, 17,221 -227.

- Salonen, V.; Korkka-Niemi, K. (2007). Influence of parent sediments on the concentration of heavy metals in urban and suburban soils in Turku, Finland. Appl. Geochem, 22, 906–918.

- Siegel F.R. (2002). Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals. Berlin. Springer. 218 pp.

- Silviera, M.L.A. et al. (2003). Biosolids and heavy metals in soils. Scientia Agricola, 60(4), 793806.

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2002). Calculating Upper Confidence Limits for Exposure Point Concentrations at Hazardous Waste Sites. OSWER 9285.6-10. December 2002.

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2006a). Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners, EPA QA/G-9S. EPA/240/B-06/003. Office of Environmental Information, Washington, DC.

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2006b). Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners, EPA QA/G-9S. EPA/240/B-06/003. Office of Environmental Information, Washington, DC.

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2013). ProUCL Version 5.0 Technical Guide. EPA /600/R-07/041, 2013

- Wedepohl, K. H. (1995). The composition of the continental crust. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59, 1217–1232.

10. ANEXOS

Anexo 1: Mapas de puntos de muestreo
Anexo 2: Tabla de resultados de laboratorio
Anexo 3: Tablas resumen de resultados del tratamiento estadístico
Anexo 4: Fichas estadísticas de representación gráfica de resultados

Es cuanto informamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente:

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: FAJARDO VARGAS Lazaro Walther FAU 20521286769 soft
Cargo: Ejecutivo de la Subdirección Técnica Científica
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 FAU 20521286769 hard
Cargo: Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Energía
Lugar: Sede Central - Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del documento

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: RUIZ CACERES Juan Walker FIR 44478289 hard
Cargo: Especialista de Evaluaciones Ambientales en Energía - Especialista I
Lugar: Sede Central - Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del documento

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: ALVAREZ TEJADA Jorge Kelvin FIR 46172046 hard
Cargo: Especialista de Evaluaciones Ambientales - Especialista II
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 FAU 20521286769 hard
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: 01052292"

01052292

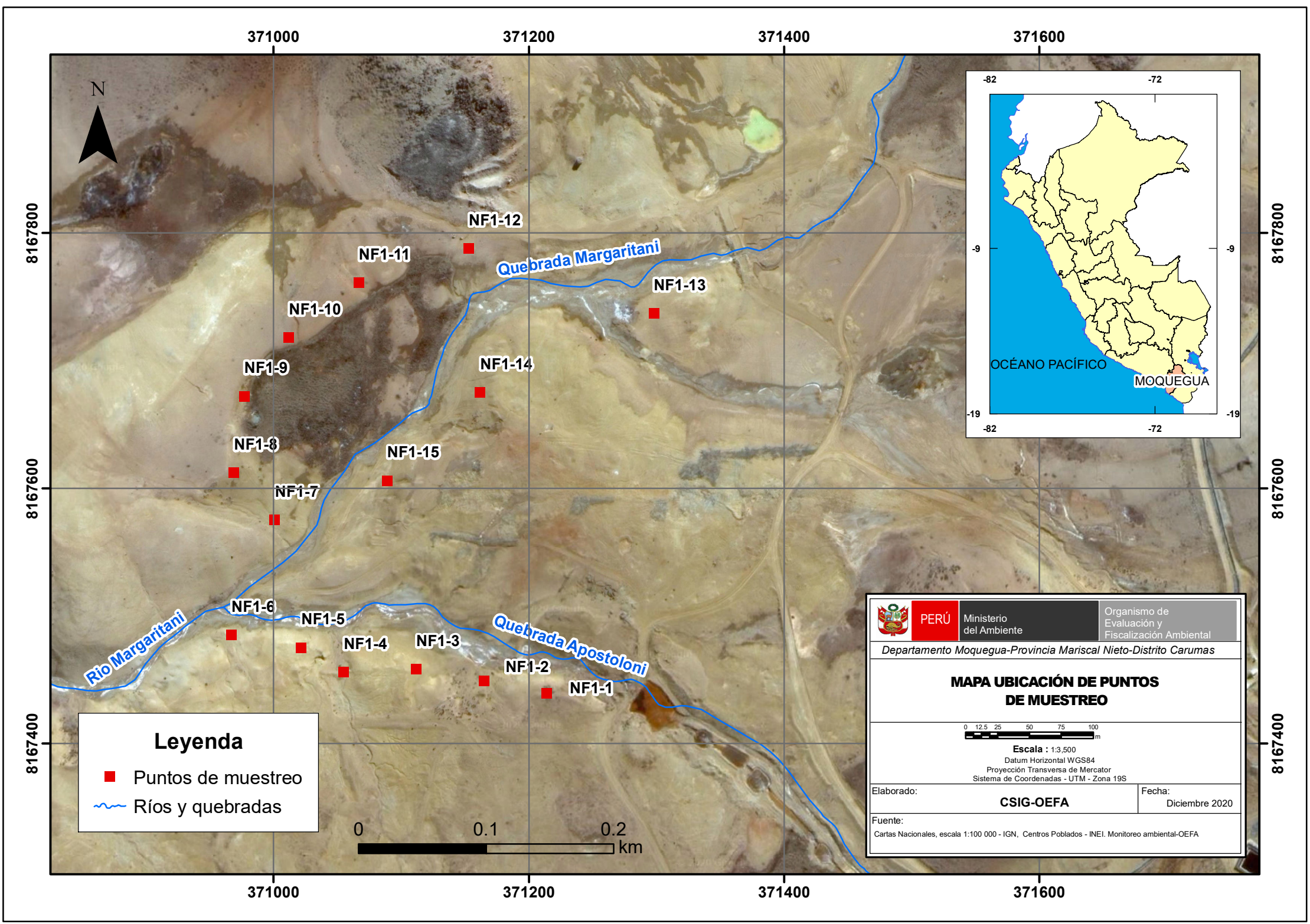
ANEXOS

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

ANEXO 1

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Mapa de ubicación de los puntos de muestreo


371000
371200
371400
371600
8167800
8167600
8167400
N
NF1-12
NF1-11
Quebrada Margaritani
NF1-13
NF1-10
NF1-9
NF1-14
NF1-8
NF1-15
NF1-7
NF1-6
NF1-5
NF1-4
NF1-3
NF1-2
NF1-1
Rio Margaritani
Quebrada Apostoloni
-82
-72
-9
-19
OCÉANO PACÍFICO
MOQUEGUA
Leyenda
Puntos de muestreo
Ríos y quebradas
0
0.1
0.2
km
PERÚ
Ministerio del Ambiente
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
Departamento Moquegua-Provincia Mariscal Nieto-Distrito Carumas
MAPA UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO
0 12.5 25 50 75 100
m
Escala : 1:3,500
Datum Horizontal WGS84
Proyección Transversa de Mercator
Sistema de Coordenadas - UTM - Zona 19S
Elaborado:
CSIG-OEFA
Fecha:
Diciembre 2020
Fuente:
Cartas Nacionales, escala 1:100 000 - IGN, Centros Poblados - INEI. Monitoreo ambiental-OEFA

ANEXO 2

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Tabla de resultados

Tabla 1.1. Resultados de los parámetros de metales totales de los puntos determinados para nivel de fondo y nivel de referencia

Nivel de fondo		**Nivel de fondo**									
Código		NF1-1	**NF1-2**	**NF1-3**	**NF1-4**	**NF1-5**	**NF1-6**	**NF1-7**	**NF1-8**	**NF1-9**	**NF1-10**
Fecha de muestreo		10/10/2020	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**
Hora de muestreo		9:40	**09:55:00**	**10:05**	**10:20**	**10:40**	**11:05**	**12:40**	**12:57**	**13:10:00**	**14:14:00**
Informe de ensayo N°.		**SAA-20/01116**									
Parámetros	**Unidad**										
Metales totales											
Aluminio Total	mg/kg PS	30112	23455	23536	27432	16053	11872	20804	16342	26731	35374
Antimonio Total	mg/kg PS	0,2307	0,2885	0,2683	0,2999	0,4943	0,6123	0,7669	0,5516	0,5955	0,3326
Arsénico Total	mg/kg PS	34,4	45,9	53,2	66,8	133	161	139	106	108	65,9
Bario Total	mg/kg PS	338,5	299,1	425	408,3	615,2	657,1	646,9	467,3	471,3	390,7
Berilio Total	mg/kg PS	0,25	< 0,006	< 0,006	0,028	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,226	0,316
Boro Total	mg/kg PS	10,87	11,14	11,88	12,62	15,24	10,92	11,46	10,65	12,06	10,93
Cadmio Total	mg/kg PS	0,06412	0,01376	0,01117	0,0207	0,00204	0,00095	0,03849	0,01954	0,05664	0,09078
Calcio Total	mg/kg PS	2769	1205	1155	1024	794,5	483,8	818,5	1532	2141	1785
Cobalto Total	mg/kg PS	9,256	3,477	2,156	3,759	0,664	0,837	1,707	1,147	6,25	7,583
Cobre Total	mg/kg PS	35	36	30	32	24	21	23	23	26	38
Cromo Total	mg/kg PS	11,6	11	11,6	11,2	6,868	6,367	8,295	8,635	11,6	20,7
Estaño Total	mg/kg PS	1,154	1,167	0,957	0,8554	0,5509	0,9114	0,7899	1,021	0,9744	1,425
Estroncio Total	mg/kg PS	139,9	116,5	118,9	134,4	172,1	84,58	125,1	113,8	140,6	136,4
Fósforo Total	mg/kg PS	1	1	1	1	1	0,7	0,9	0,9	1	1
Hierro Total	mg/kg PS	46648	49164	53764	52149	50718	50004	35450	50546	41002	37203
Litio Total	mg/kg PS	5,764	3,865	3,81	5,491	3,131	2,334	4,479	3,023	5,842	10,38
Magnesio Total	mg/kg PS	2638	2045	2099	2360	1580	1386	1918	1671	2460	3211
Manganeso Total	mg/kg PS	593	84,4	66,9	163	25,7	25,5	69,3	50,7	225	649
Mercurio Total	mg/kg PS	0,203	<0,010	0,381	0,35	0,684	0,416	0,443	0,485	0,282	<0,010

Nivel de fondo		**Nivel de fondo**									
Código		NF1-1	**NF1-2**	**NF1-3**	**NF1-4**	**NF1-5**	**NF1-6**	**NF1-7**	**NF1-8**	**NF1-9**	**NF1-10**
Fecha de muestreo		10/10/2020	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**
Hora de muestreo		9:40	**09:55:00**	**10:05**	**10:20**	**10:40**	**11:05**	**12:40**	**12:57**	**13:10:00**	**14:14:00**
Informe de ensayo N°.		**SAA-20/01116**									
Parámetros	**Unidad**										
Metales totales											
Molibdeno Total	mg/kg PS	1,053	1,406	1,608	1,764	1,742	1,627	1,844	1,49	1,23	0,92
Níquel Total	mg/kg PS	6,39	4,04	2,81	3,73	0,691	1,11	2,21	1,58	3,41	7,81
Plata Total	mg/kg PS	0,2306	0,1956	0,1786	0,162	0,7026	0,248	0,9814	0,24	0,2175	0,1011
Plomo Total	mg/kg PS	16,7	27,5	35,7	47,8	147	108	304	71,8	64,4	54,4
Potasio Total	mg/kg PS	2432	2230	2499	3294	4895	3168	3490	2244	2662	2645
Selenio Total	mg/kg PS	1,538	1,575	1,767	1,604	1,595	1,535	1,527	1,54	1,428	1,275
Sodio Total	mg/kg PS	636	425	337	485	733	292	366	220	317	482
Talio Total	mg/kg PS	0,6432	1,101	1,101	1,952	4,423	2,788	4,065	1,063	1,887	1,185
Titanio Total	mg/kg PS	598	342	255	238	40	108	102	180	276	860
Vanadio Total	mg/kg PS	101	92	88	88	52	48	55	60	87	104
Zinc Total	mg/kg PS	51	38	25	39	21	17	24	21	32	50

Fuente: Informe de Ensayo N.° SAA-20/01116 del laboratorio AGQ Perú SAC.
(<) Por debajo del límite de detección

Tabla 1.1. Resultados de los parámetros de metales totales de los puntos determinados para nivel de fondo y nivel de referencia (…continuación)

Nivel de fondo		**Nivel de fondo**				
Código		**NF1-11**	**NF1-12**	**NF1-13**	**NF1-14**	**NF1-15**
Fecha de muestreo		**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**
Hora de muestreo		**14:25**	**14:40**	**14:55**	**15:14**	**15:25**
Informe de ensayo N°.		**SAA-20/01117**				
Parámetros	**Unidad**					
Metales totales						
Aluminio Total	mg/kg PS	23889	13338	23426	19509	17689
Antimonio Total	mg/kg PS	0,1322	1,83	0,5892	0,6443	0,3542
Arsénico Total	mg/kg PS	92,2	235	135	167	121
Bario Total	mg/kg PS	336,8	970,9	393,3	425,6	306,1
Berilio Total	mg/kg PS	0,152	<0,006	0,037	<0,006	<0,006
Boro Total	mg/kg PS	7,944	8,766	12,16	10,81	7,845
Cadmio Total	mg/kg PS	0,04457	0,04636	0,03596	0,02593	0,10192
Calcio Total	mg/kg PS	3190	997,8	731,1	618,5	539,7
Cobalto Total	mg/kg PS	5,975	17,4	4,582	2,064	2,733
Cobre Total	mg/kg PS	28	23	31	24	73
Cromo Total	mg/kg PS	18,3	4,762	10,9	8,76	8,643
Estaño Total	mg/kg PS	0,9417	1,001	1,322	0,9905	1,308
Estroncio Total	mg/kg PS	144,1	218,8	62,43	66,86	65,74
Fósforo Total	mg/kg PS	1	1	1	1	0,9
Hierro Total	mg/kg PS	42045	71734	47595	69865	50338
Litio Total	mg/kg PS	4,32	2,541	7,592	4,068	3,291
Magnesio Total	mg/kg PS	2332	986	2615	1731	1892
Manganeso Total	mg/kg PS	751	1096	212	91,9	70,9
Mercurio Total	mg/kg PS	<0,010	0,957	0,14	0,255	<0,010
Molibdeno Total	mg/kg PS	1,236	2,013	1,34	1,435	1,161

Nivel de fondo		**Nivel de fondo**				
Código		**NF1-11**	**NF1-12**	**NF1-13**	**NF1-14**	**NF1-15**
Fecha de muestreo		**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**
Hora de muestreo		**14:25**	**14:40**	**14:55**	**15:14**	**15:25**
Informe de ensayo N°.		**SAA-20/01117**				
Parámetros	**Unidad**					
Metales totales						
Níquel Total	mg/kg PS	4,04	0,88	5,32	2,16	3,52
Plata Total	mg/kg PS	0,0395	0,2108	0,1554	0,1951	0,0986
Plomo Total	mg/kg PS	39	129	54,8	87,7	36
Potasio Total	mg/kg PS	1743	5865	2977	2464	2174
Selenio Total	mg/kg PS	1,237	2,37	1,096	1,441	1,193
Sodio Total	mg/kg PS	446	351	394	187	302
Talio Total	mg/kg PS	1,047	4,671	1,921	2,042	1,808
Titanio Total	mg/kg PS	165	108	555	219	333
Vanadio Total	mg/kg PS	85	50	77	72	65
Zinc Total	mg/kg PS	33	22	38	29	36

Fuente: Informe de Ensayo N.° SAA-20/01117 del laboratorio AGQ Perú SAC.
(<) Por debajo del límite de detección

Tabla 2.1. Resultados de caracterización fisicoquímica y textural de los puntos determinados para niveles de fondo y nivel de referencia

Código de muestra		**NF1-1**	**NF1-3**	**NF1-7**	**NF1-10**	**NF1-13**	**NF1-15**
Fecha de muestreo		**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**	**10/10/2020**
Hora de muestreo		**09:40:00**	**10:05:00**	**12:40:00**	**14:14:00**	**14:55:00**	**15:25:00**
N.° Informe de ensayo		**G000001608**					
Parámetros	**Unidad**						
pH	Und. pH	5,08	3,22	4,59	5,27	4,43	3,44
C.E.	(µS/m)	139,80	854,00	40,80	55,10	59,50	551,00
$CaCO_3$	(%)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Materia orgánica	(%)	5,10	4,19	4,34	5,53	4,47	3,78
Análisis mecánico	% Arcilla	33	23	30	30	23	18
	% Limo	20	15	23	28	23	15
	% Arena	47	62	47	42	54	67
Clase textual		Franco arcilloso arenosa	Franco arcilloso arenosa	Franco arcilloso arenosa	Franco arcillosa	Franco arcillosa arenosa	Franco arenosa

Fuente: Informe de Ensayo N.° G000001608 del laboratorio TYPSA Perú S.A.
(<) Por debajo del límite de detección

ANEXO 3

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Tablas resumen de resultados del tratamiento estadístico

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

www.oefa.gob.pe
Dirección de Evaluación

Av. Faustino Sánchez Carrión
N° 603, 607 y 615
Jesús María - Lima, Perú
Teléf.: (511) 204 9900

Tabla 1. Tabla de resumen de resultados de análisis estadístico para la asociación de suelo

Nom	N	Mínima**	Mediana	Media*	P95	Máximo	Varianza*	Desviación estándar*	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Distribución	Censurados	Anómalos
Ag	13	0,0395	0,195	0,175	0,243	0,248	0,00389376	0,0624	0,206	0,278	Normal	No	Sí
Al	15	11872	23426	21971	31691	35374	41267776	6424	24892	38456	Normal	No	No
As	15	34,4	108	110,9	187,4	235	2912,7609	53,97	135,4	249,4	Normal	No	No
B	15	7,845	10,93	11,02	13,41	15,24	3,467044	1,862	11,87	15,8	Normal	No	No
Ba	15	299,1	425	476,8	751,2	970,9	32041	179	572	992,8	Gamma	No	No
Ca	15	483,8	1024	1319	2895	3190	674205,21	821,1	1812	2984	Gamma	No	No
Cd	15	0,00095	0,036	0,0382	0,0941	0,102	0,00091204	0,0302	0,0519	0,116	Normal	No	No
Co	14	0,664	3,105	3,728	8,169	9,256	7,102225	2,665	4,989	10,69	Normal	No	Sí
Cr	14	4,762	9,83	9,895	13,95	18,3	10,634121	3,261	11,44	18,42	Normal	No	Sí
Cu	14	21	27	28,14	36,7	38	30,902481	5,559	30,77	42,67	Normal	No	Sí
Fe	13	35450	49164	46664	52795	53764	34374769	5863	49561	54177	Normal	No	Sí
K	13	1743	2499	2617	3372	3490	248103.61	498.1	2863	3436	Normal	No	Sí
Li	14	2,334	3,967	4,254	6,455	7,592	2,172676	1,474	4,951	8,106	Normal	No	Sí
Mg	15	986	2045	2062	2810	3211	317081,61	563,1	2318	3506	Normal	No	No
Mn	14	25,7	127,5	296,3	871,8	1096	112627,36	335,6	569	962	Gamma	No	Sí
Mo	15	0,92	1,435	1,458	1,895	2,013	0,0961	0,31	1,599	2,253	Normal	No	No
Na	15	187	366	398,2	665,1	733	21199,36	145,6	464,4	771,8	Normal	No	No
Ni	15	0,691	3,41	3,313	6,816	7,81	4,173849	2,043	4,243	8,557	Normal	No	No
P	15	0,7	1	0,96	1	1	0,00685584	0,0828	0,998	1	No Paramétrico	No	No
Pb	14	16,7	54,6	65,7	135,3	147	1527,2464	39,08	84,2	167,8	Normal	No	Sí
Sb	14	0,132	0,424	0,44	0,687	0,767	0,0361	0,19	0,53	0,753	Normal	No	Sí
Se	14	1,096	1,531	1,454	1,661	1,767	0,035344	0,188	1,542	1,762	Normal	No	Sí
Sn	15	0,551	0,991	1,025	1,353	1,425	0,050176	0,224	1,126	1,6	Normal	No	No
Sr	14	65,74	129,8	127	188,4	218,8	1597,6009	39,97	145,9	231,5	Normal	No	Sí
Ti	15	40	238	291,9	676,6	860	49684,41	222,9	393,3	863,8	Normal	No	No
Tl	15	0,643	1,887	2,113	4,497	4,671	1,69	1,3	2,914	4,628	Gamma	No	No
V	15	48	77	74,93	101,9	104	357,9664	18,92	83,54	106	Normal	No	No
Zn	15	17	32	31,73	50,3	51	107,9521	10,39	36,46	58,39	Normal	No	No
Be	7	0,006	0,152	0,145	0,296	0,316	1,31E-02	0,114	0,237	0,349	Normal	Sí	Sí

(*) Para casos con valores censurados se usa el método Kaplan Mieyer
(**) Para parámetros con valores censurados el mínimo es el LD

ANEXO 4

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Fichas estadísticas de representación gráfica de resultados

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

www.oefa.gob.pe
Dirección de Evaluación

Av. Faustino Sánchez Carrión
N° 603, 607 y 615
Jesús María - Lima, Perú
Teléf.: (511) 204 9900

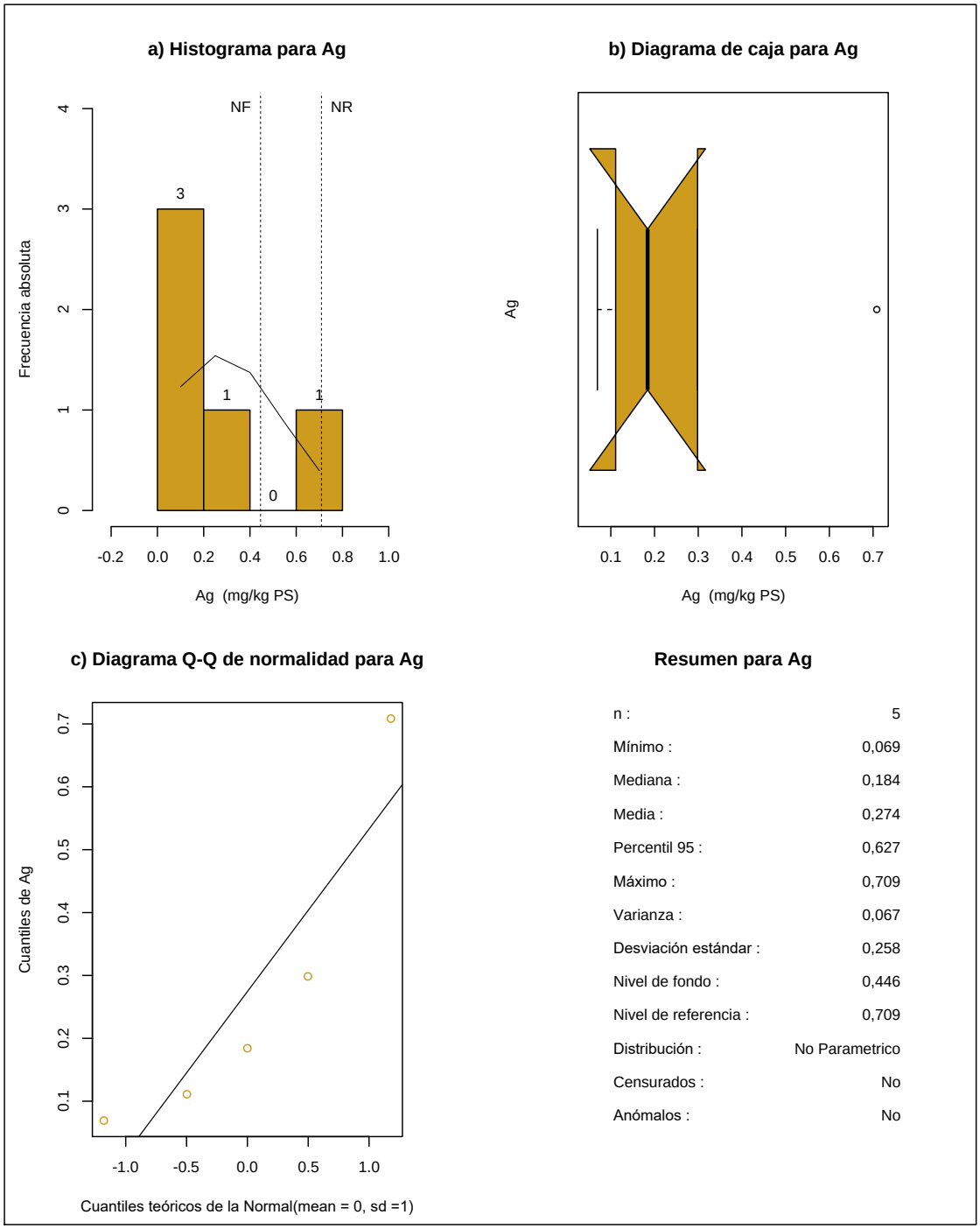


Figura 1. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de plata

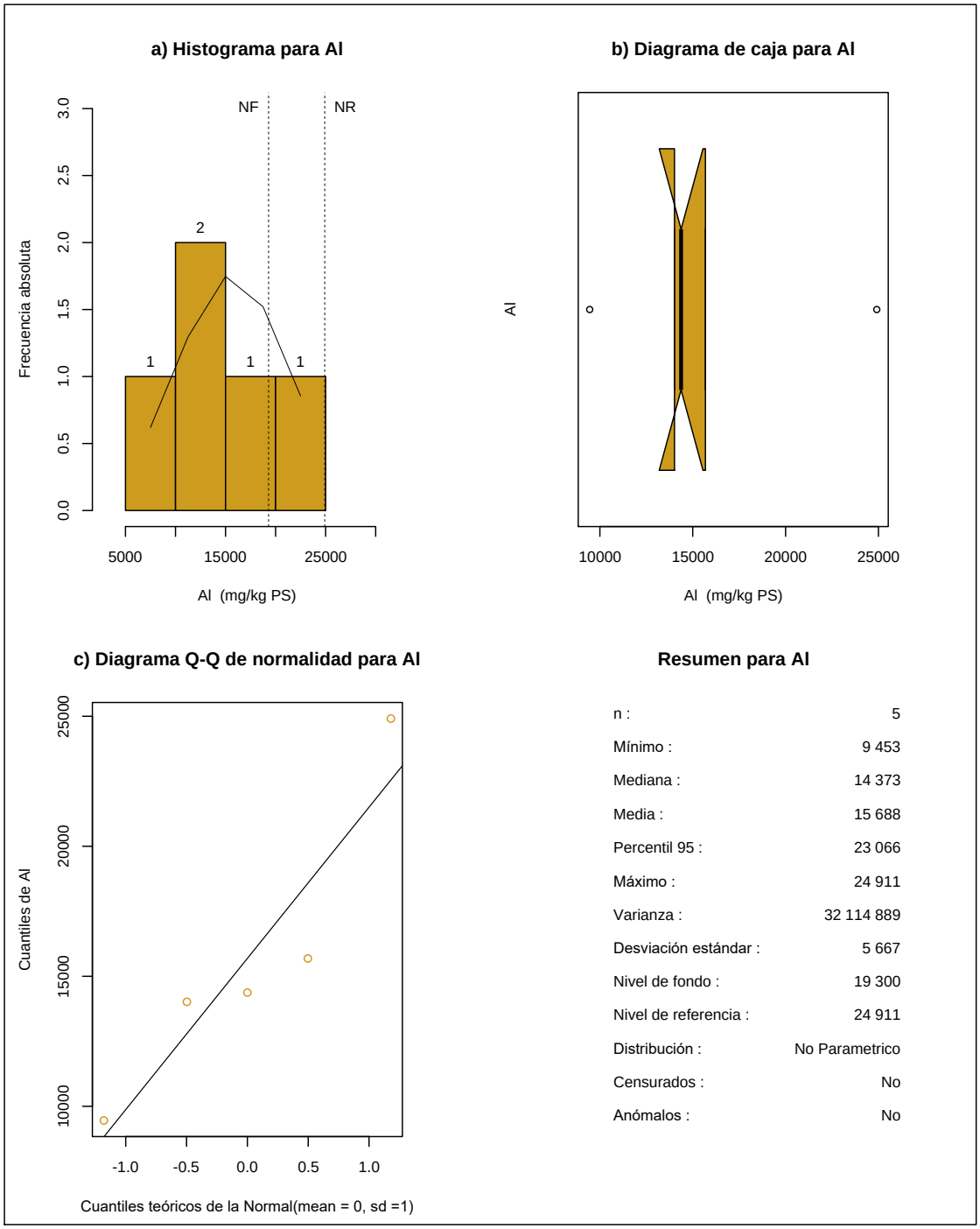


Figura 2. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de aluminio

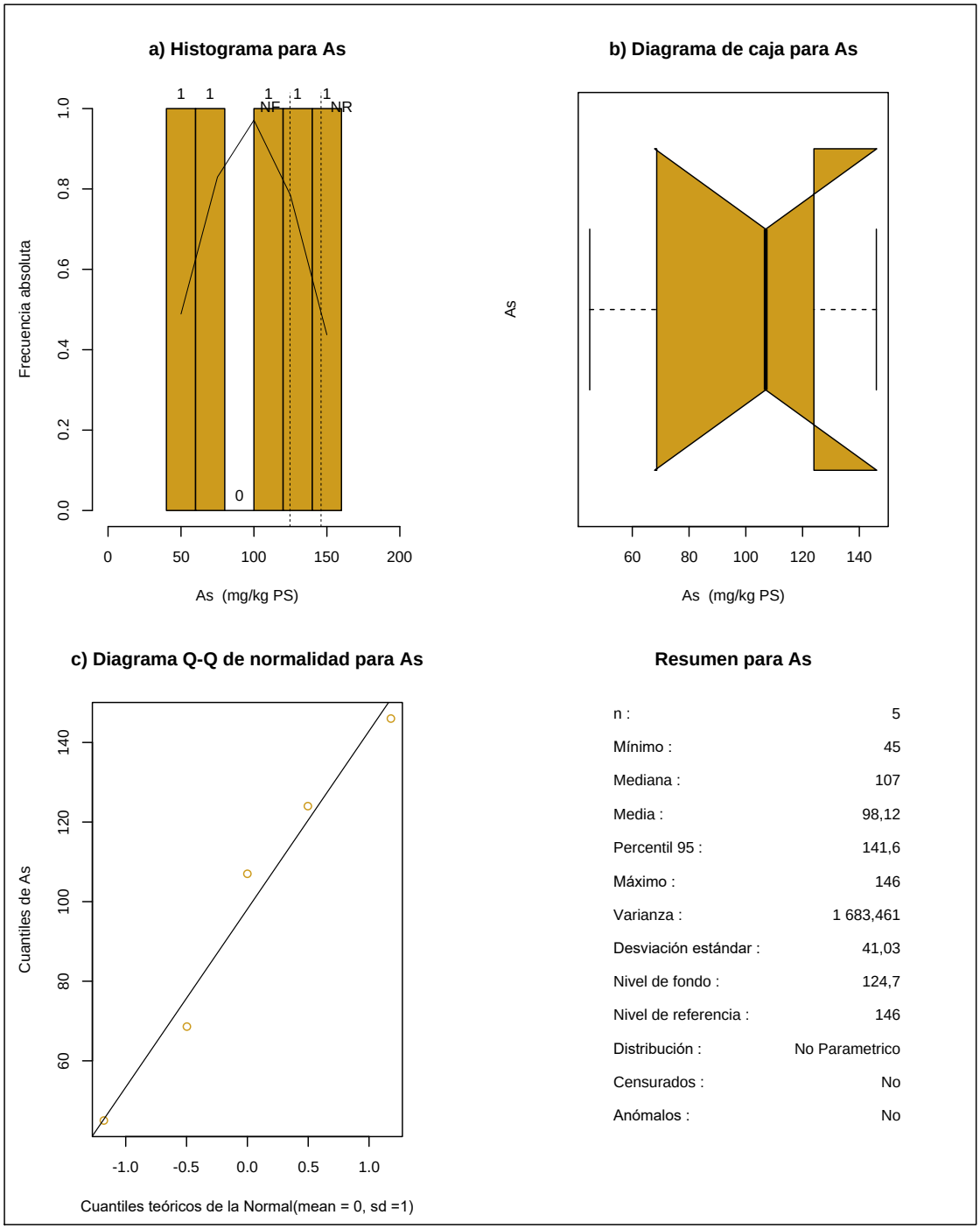


Figura 3. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de arsénico

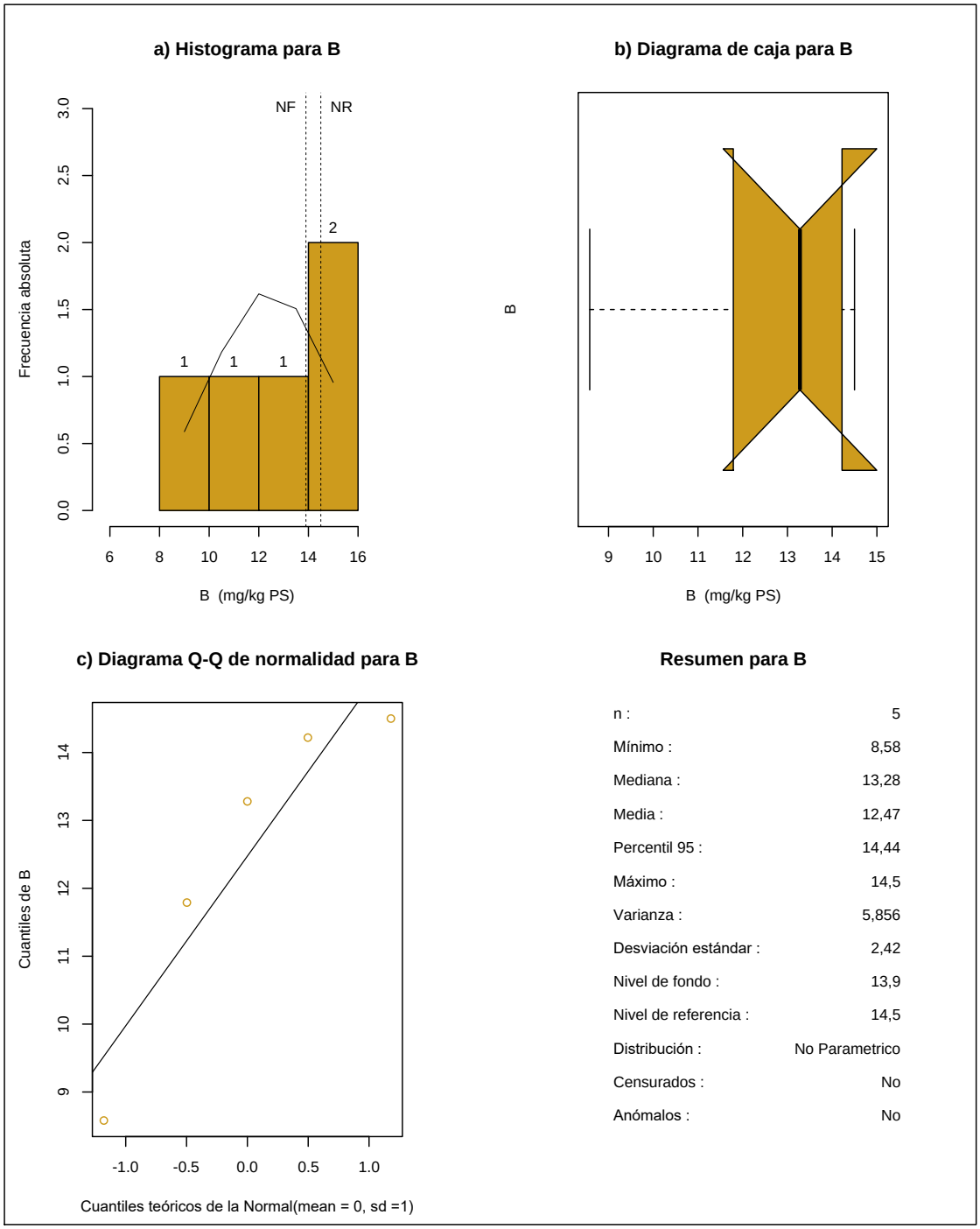


Figura 4. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de boro

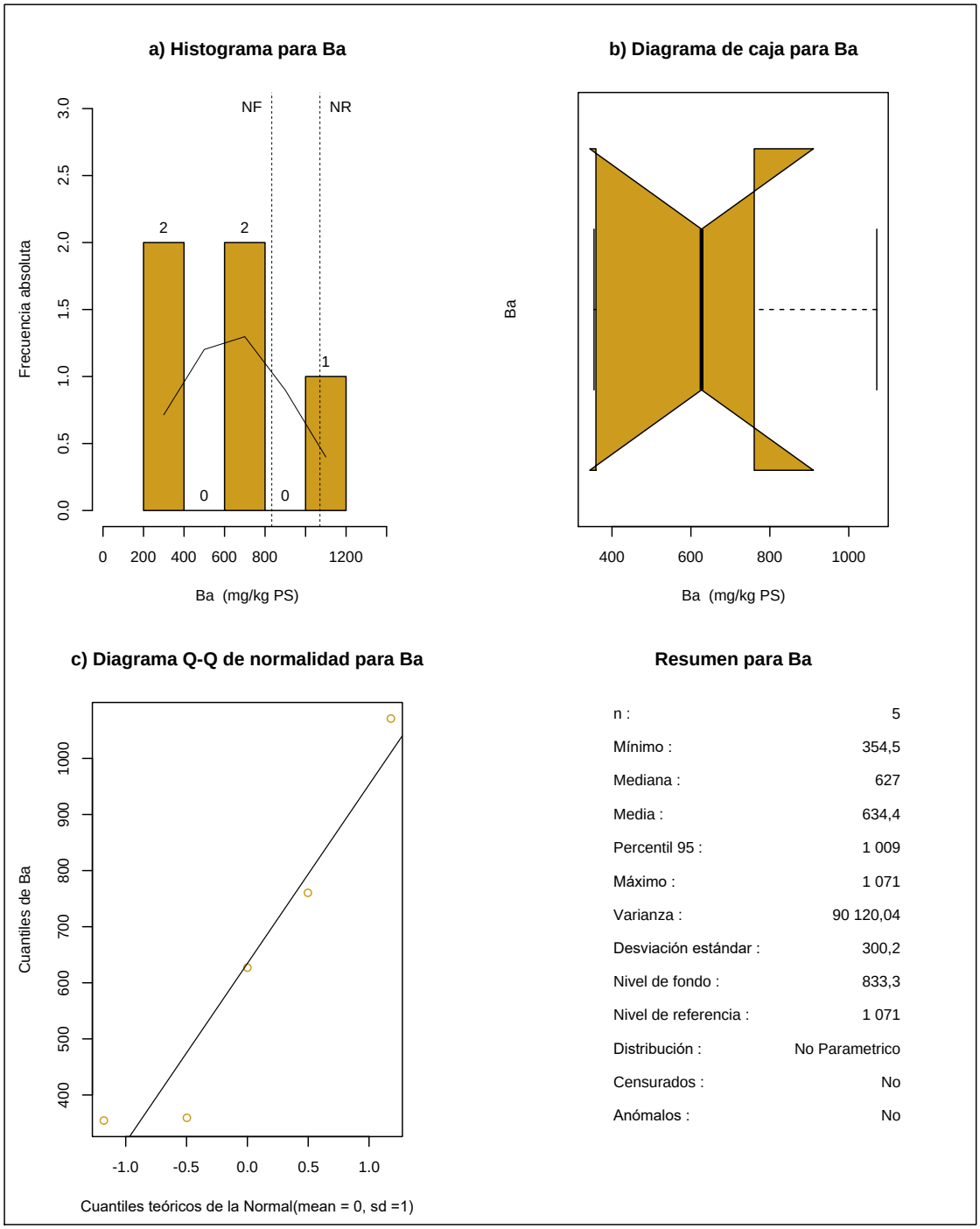


Figura 5. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de bario

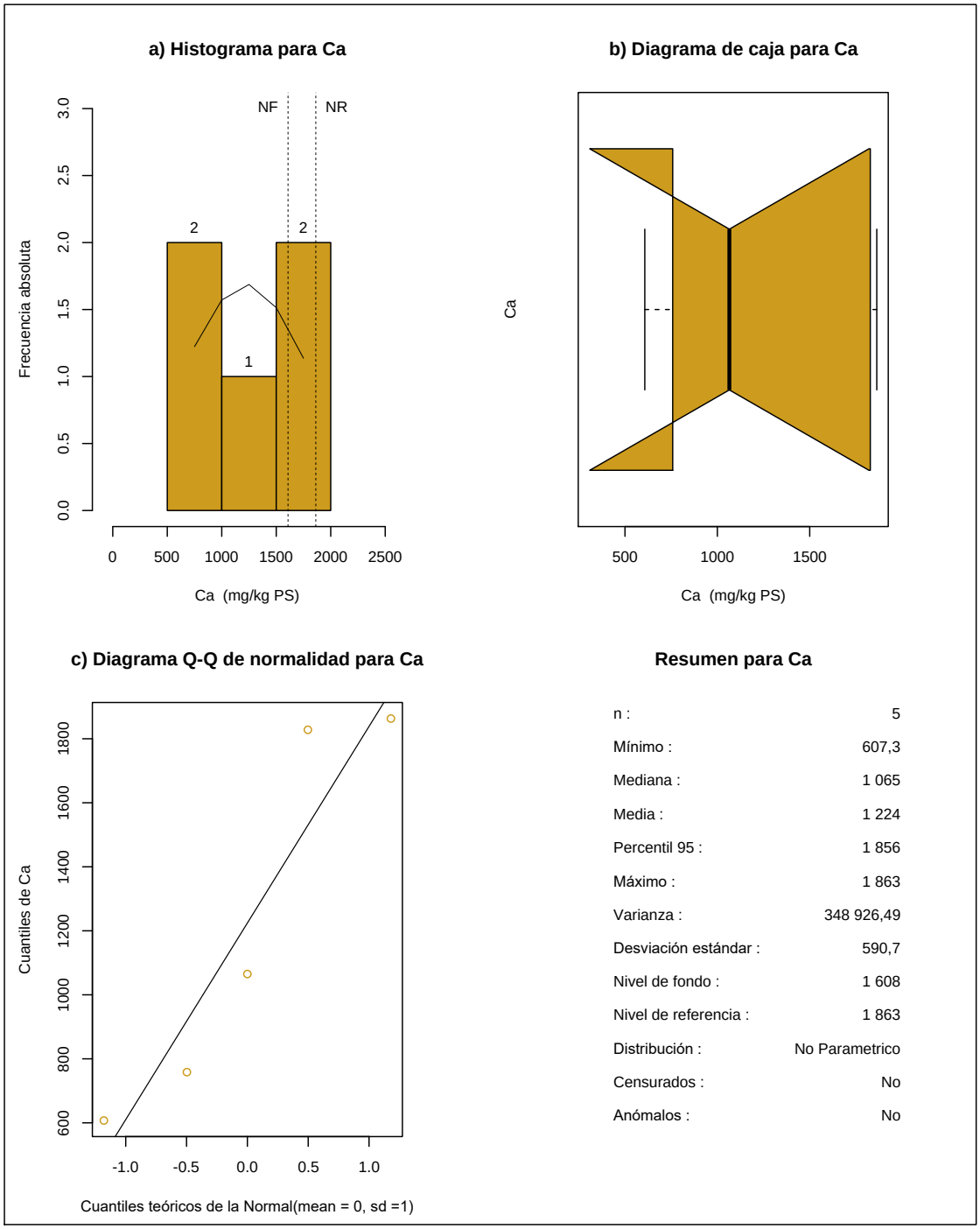


Figura 6. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de calcio

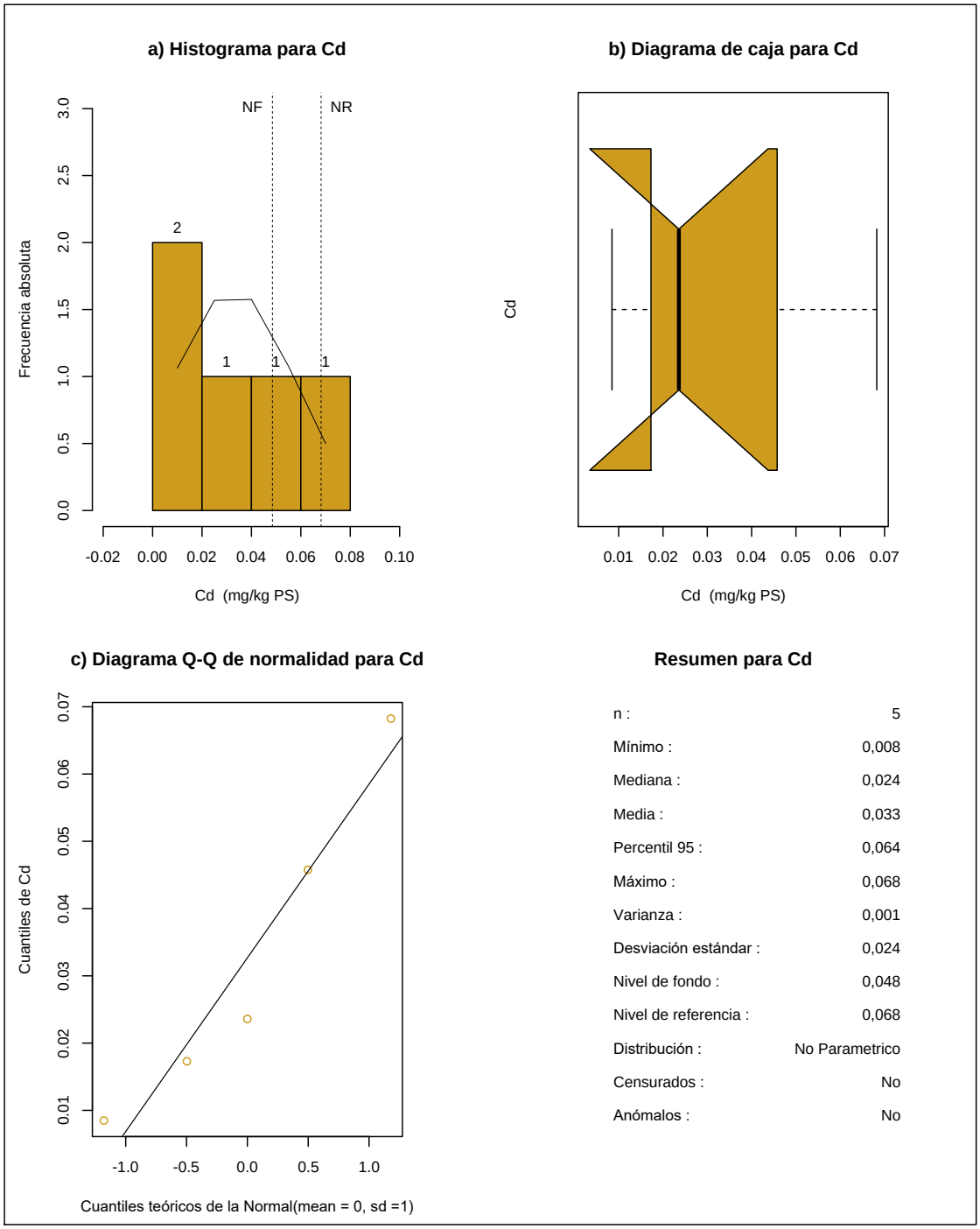


Figura 7. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de cadmio

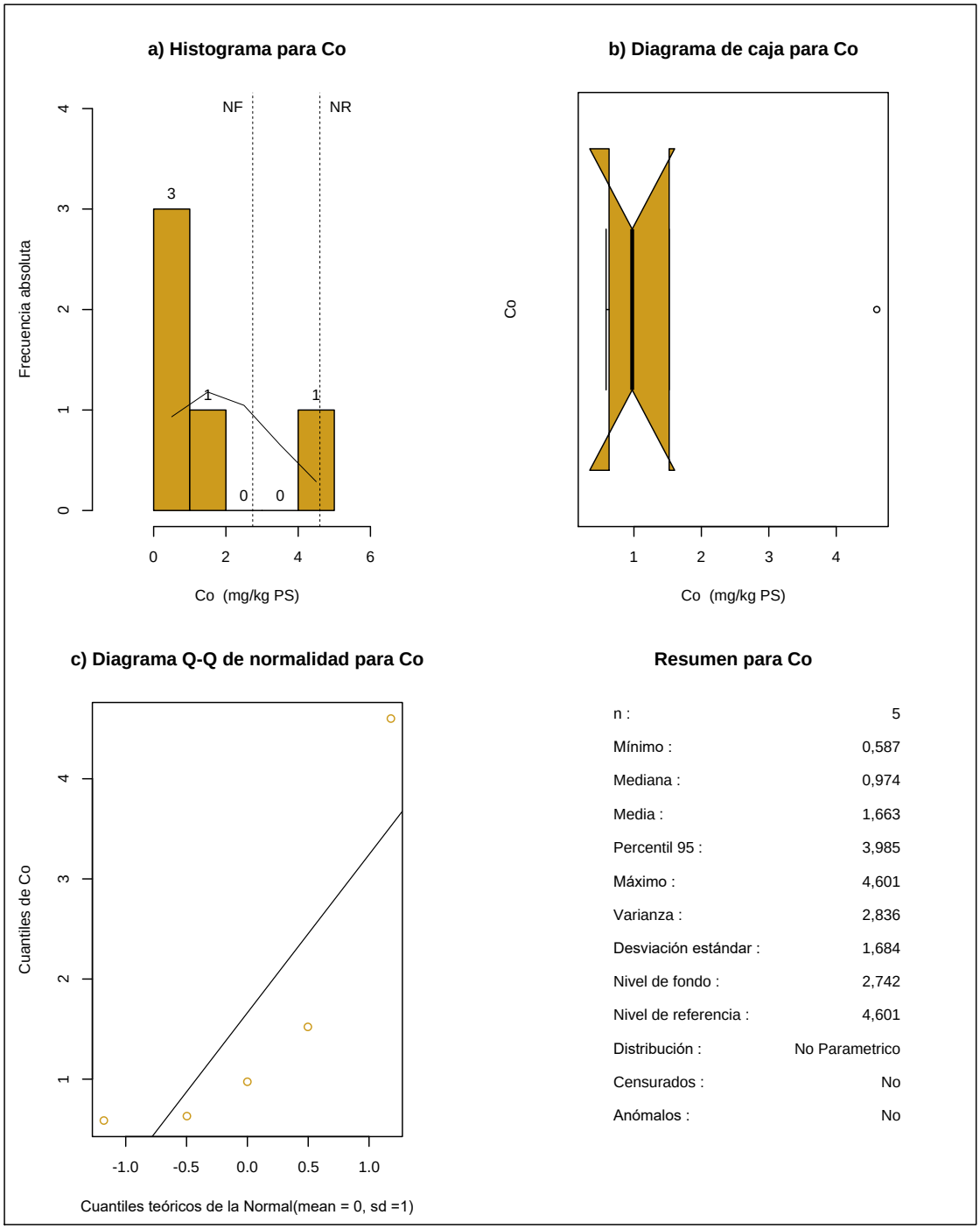


Figura 8. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de cobalto

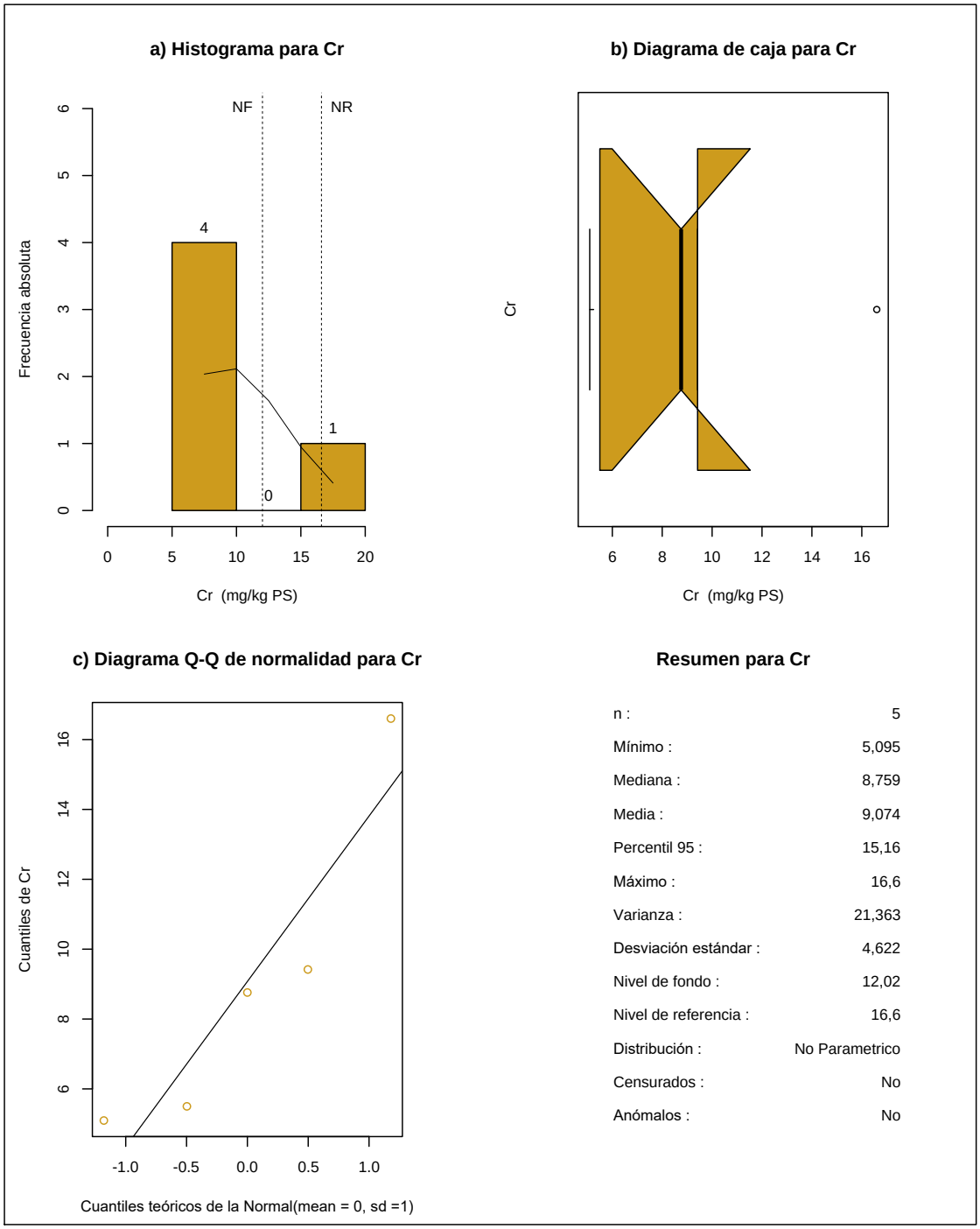


Figura 9. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de cromo

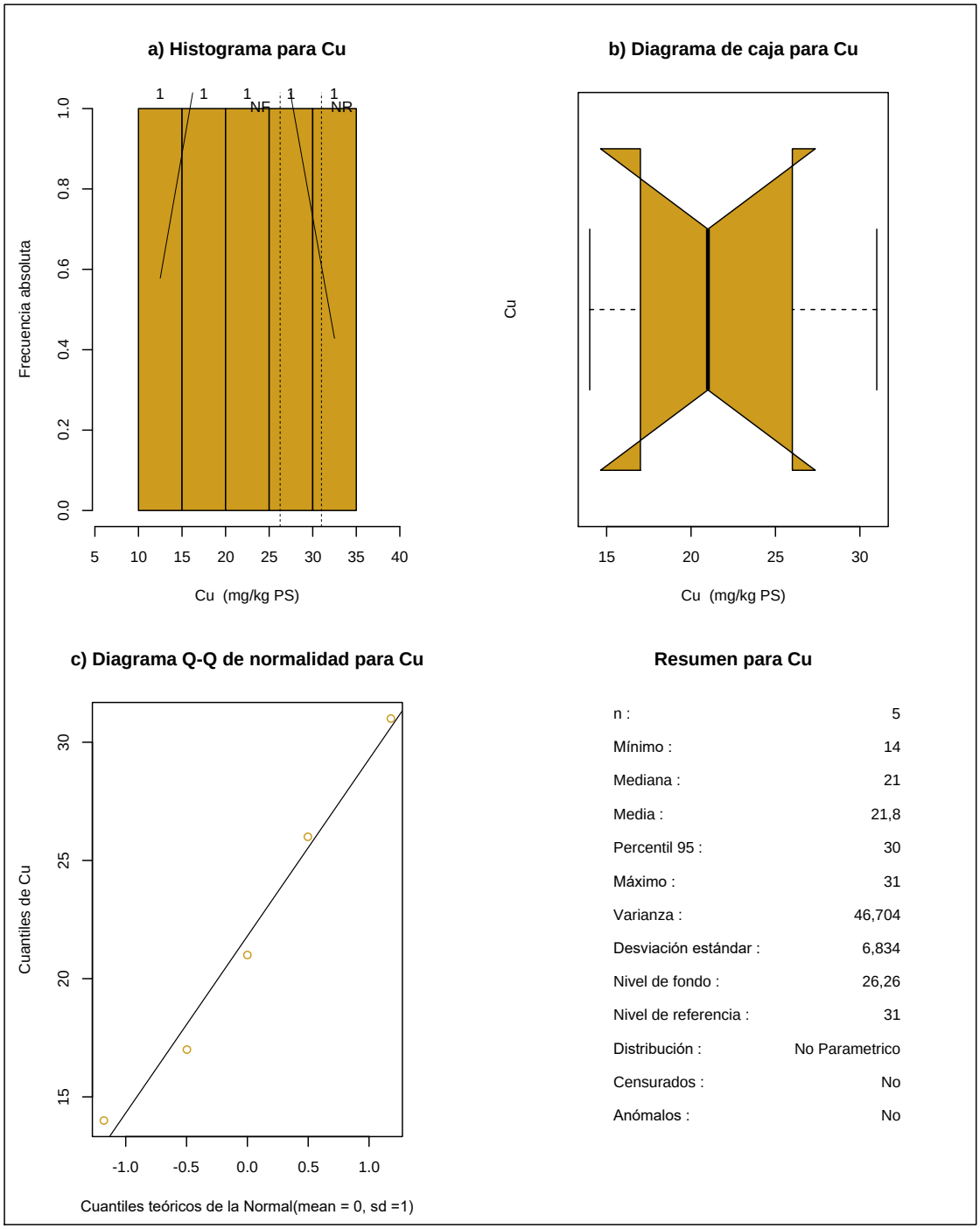


Figura 10. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de cobre

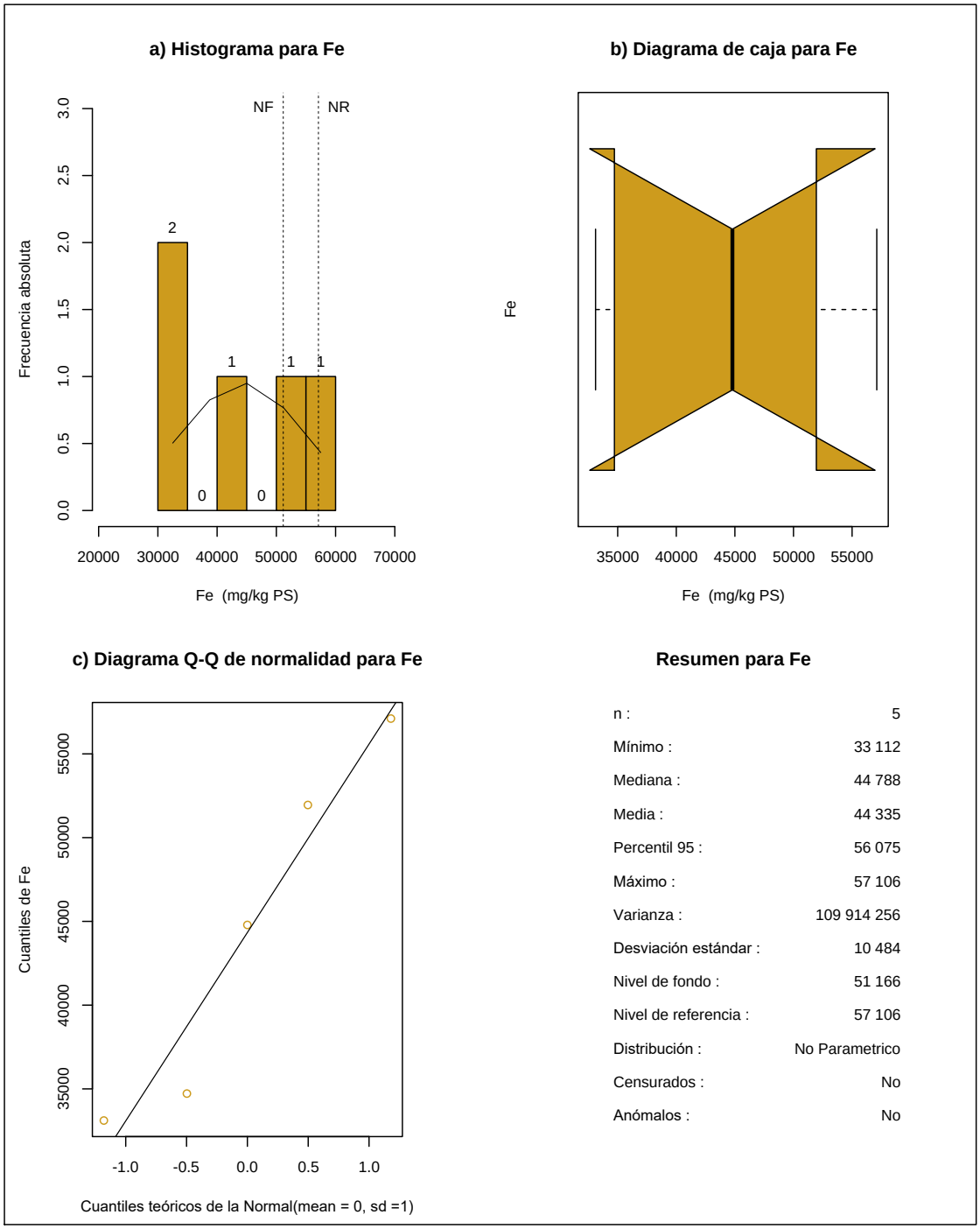


Figura 11. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de hierro

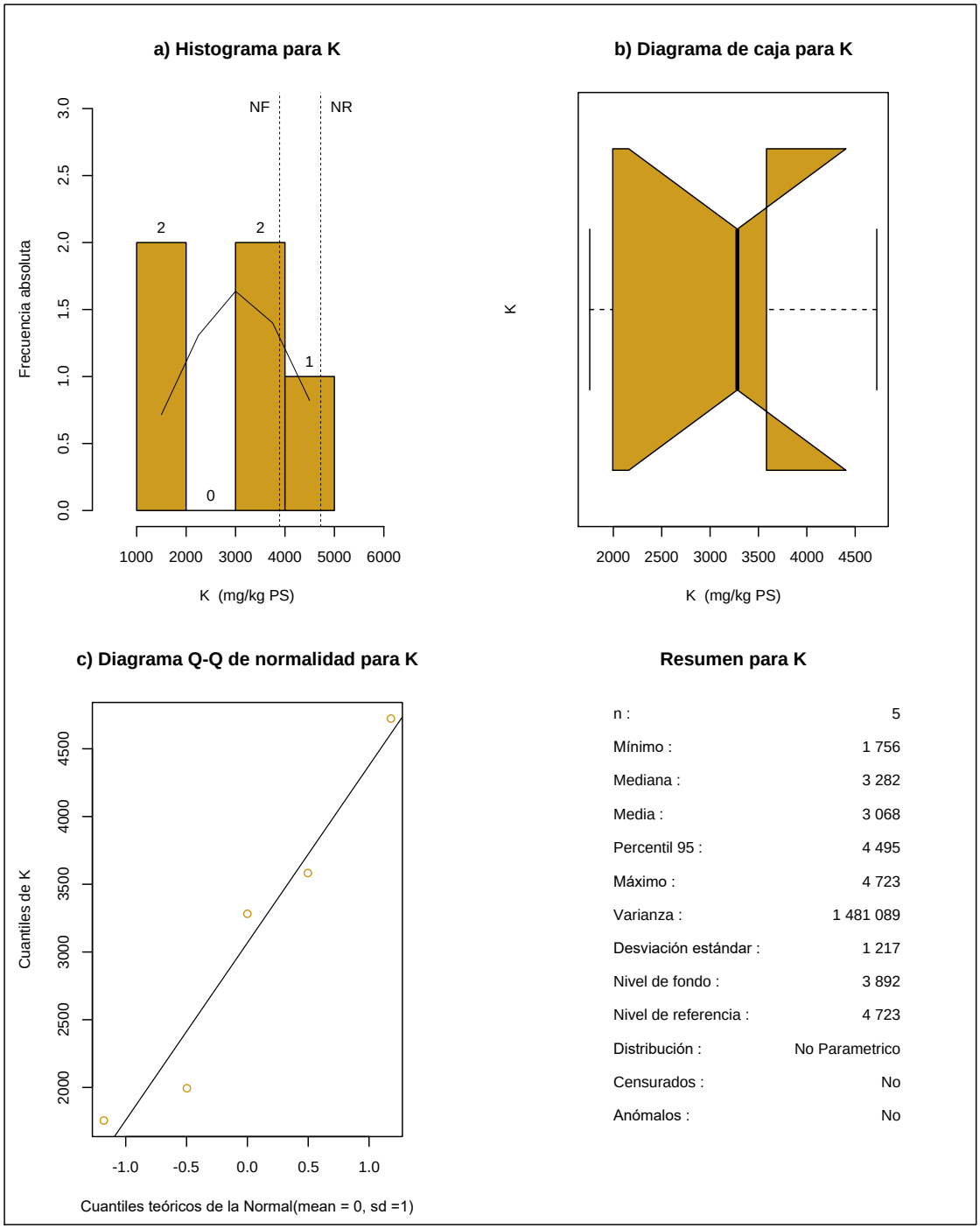


Figura 12. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de potasio

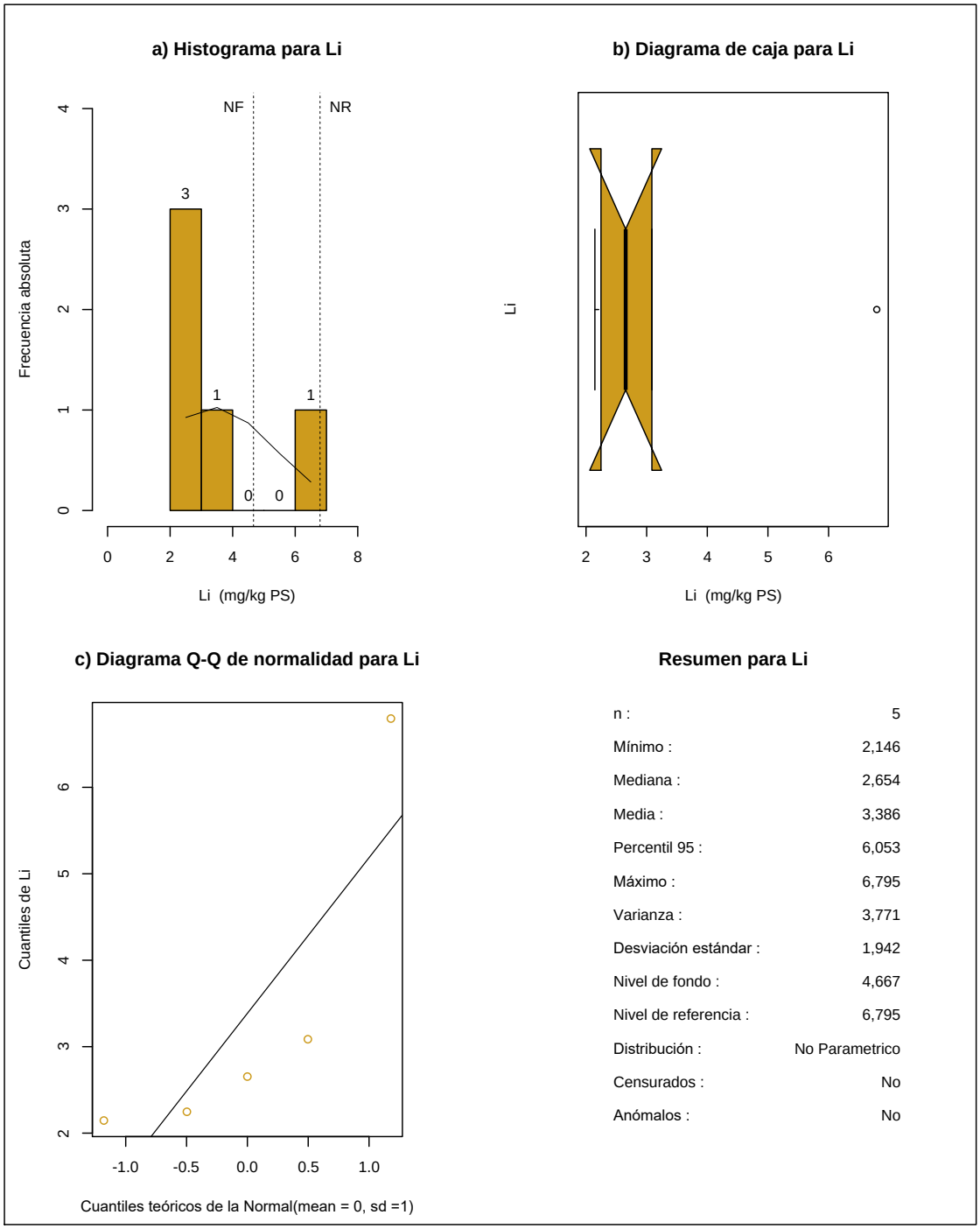


Figura 13. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de litio

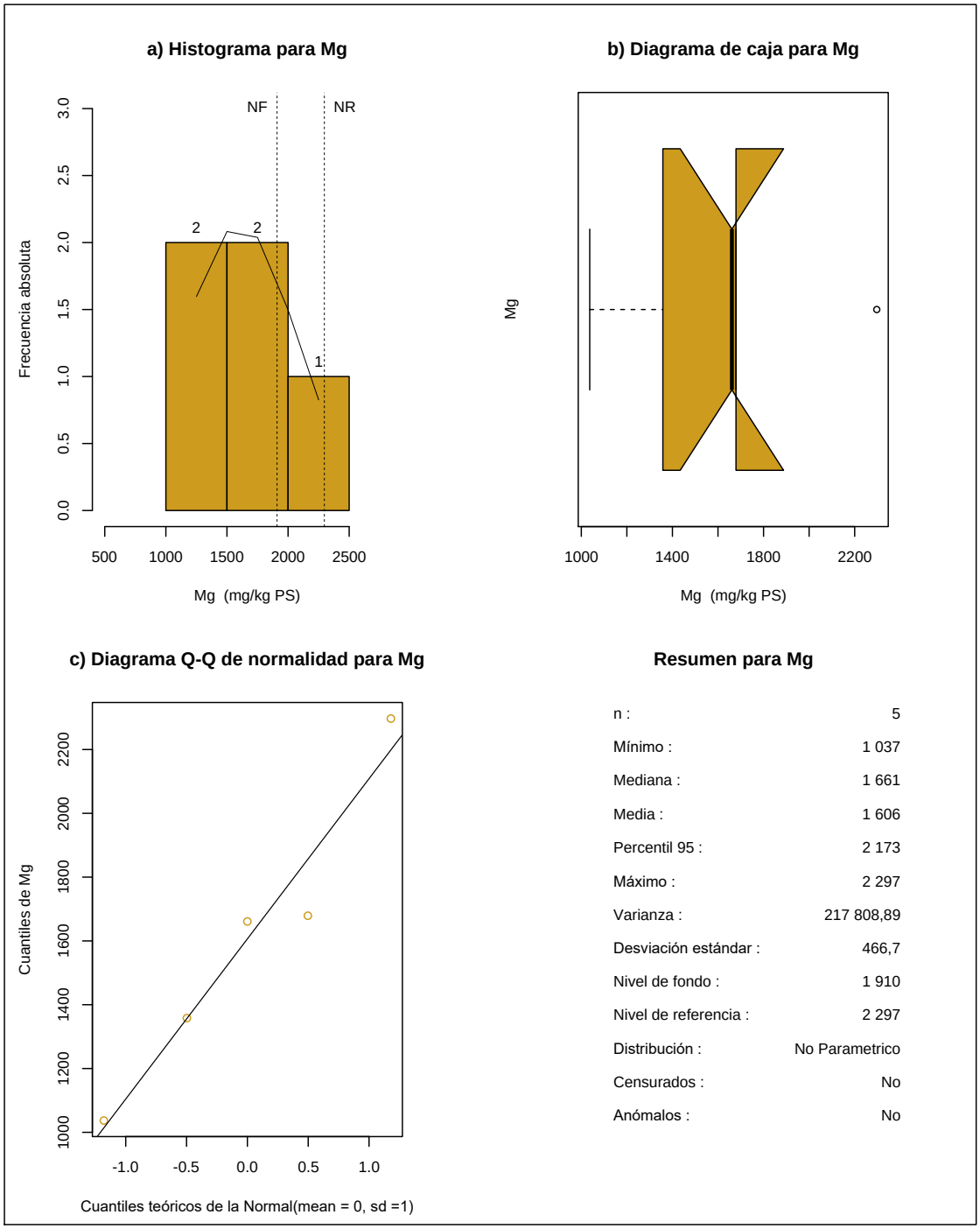


Figura 14. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de magnesio

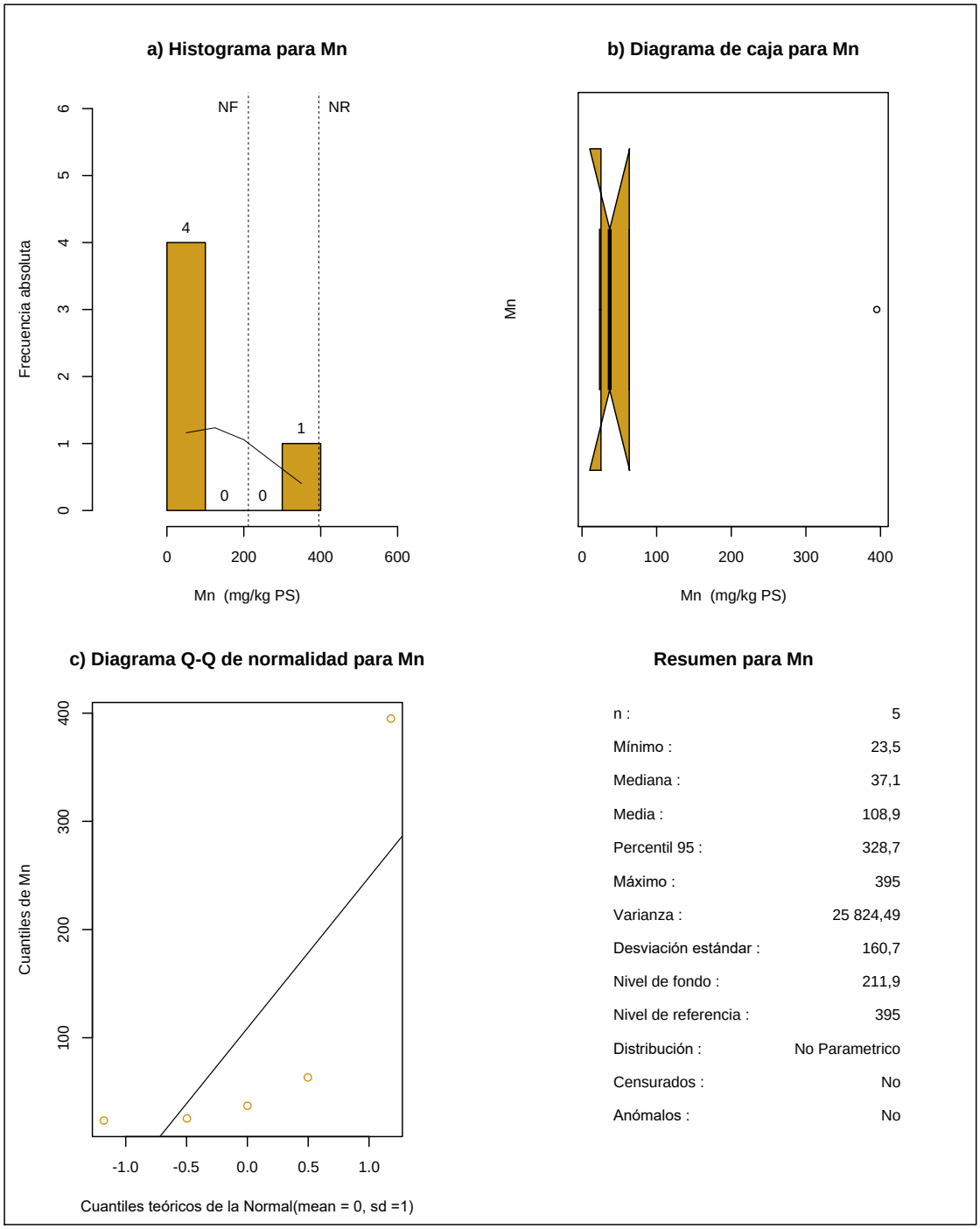


Figura 15. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de manganeso

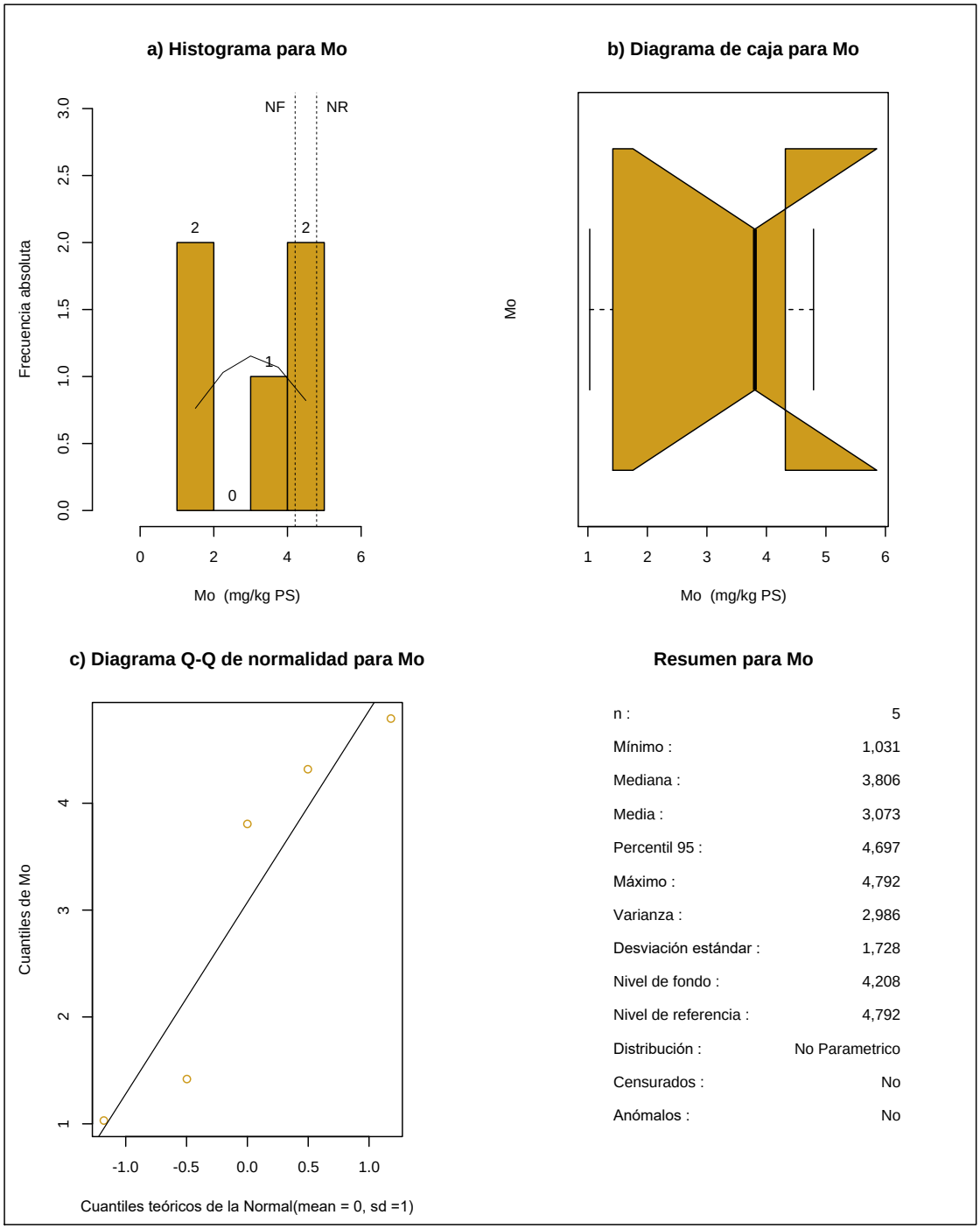


Figura 16. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de molibdeno

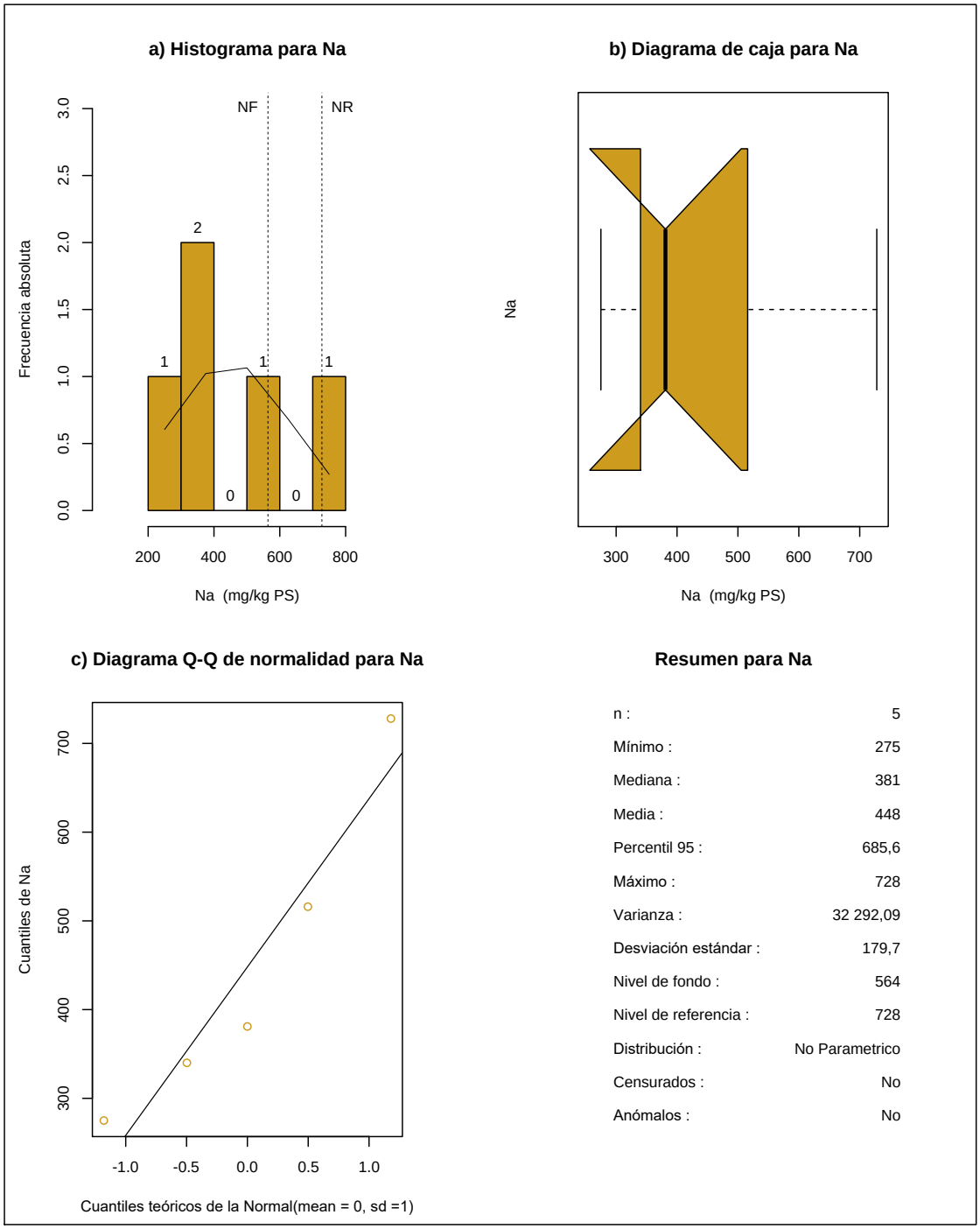


Figura 17. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de sodio

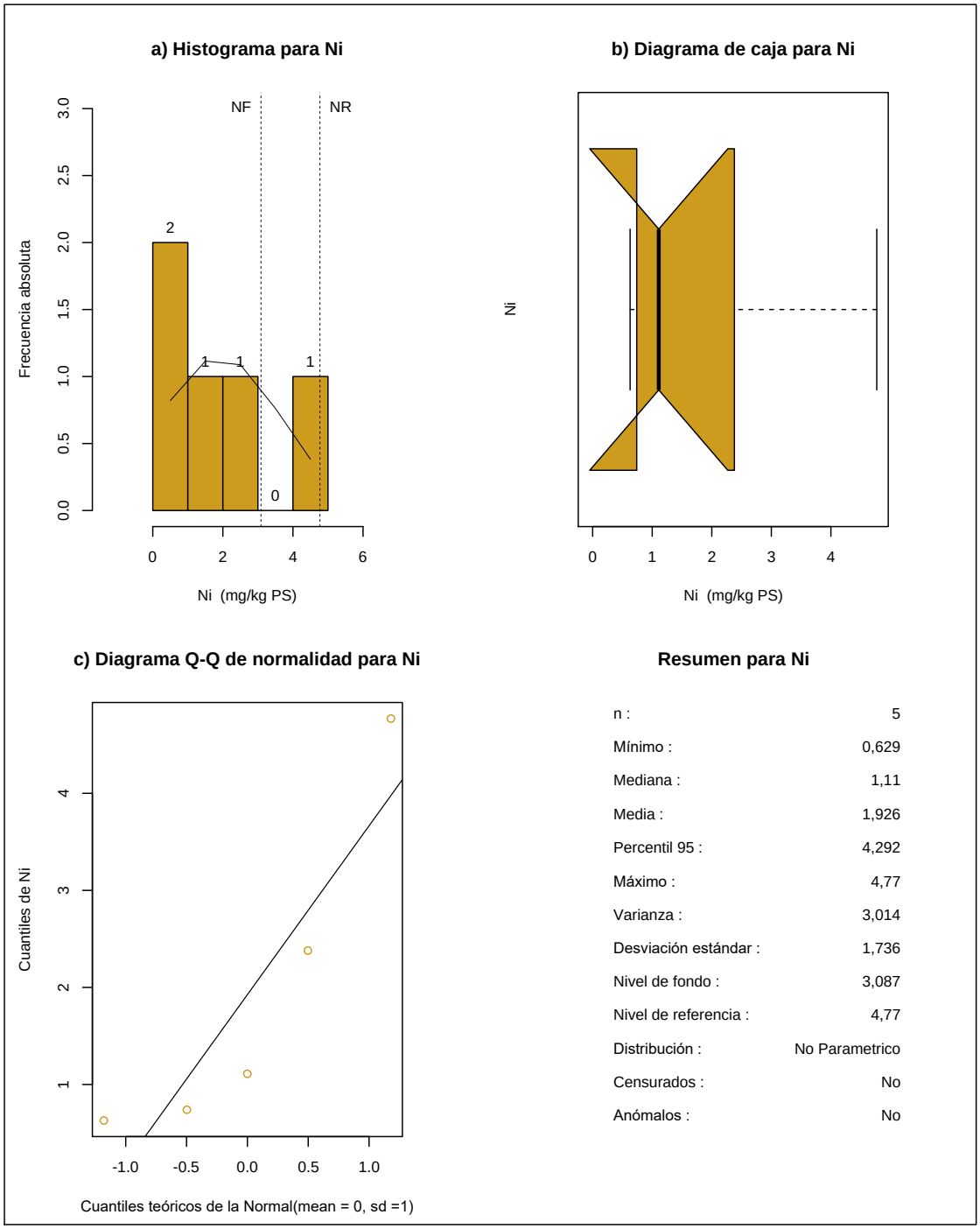


Figura 18. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de níquel

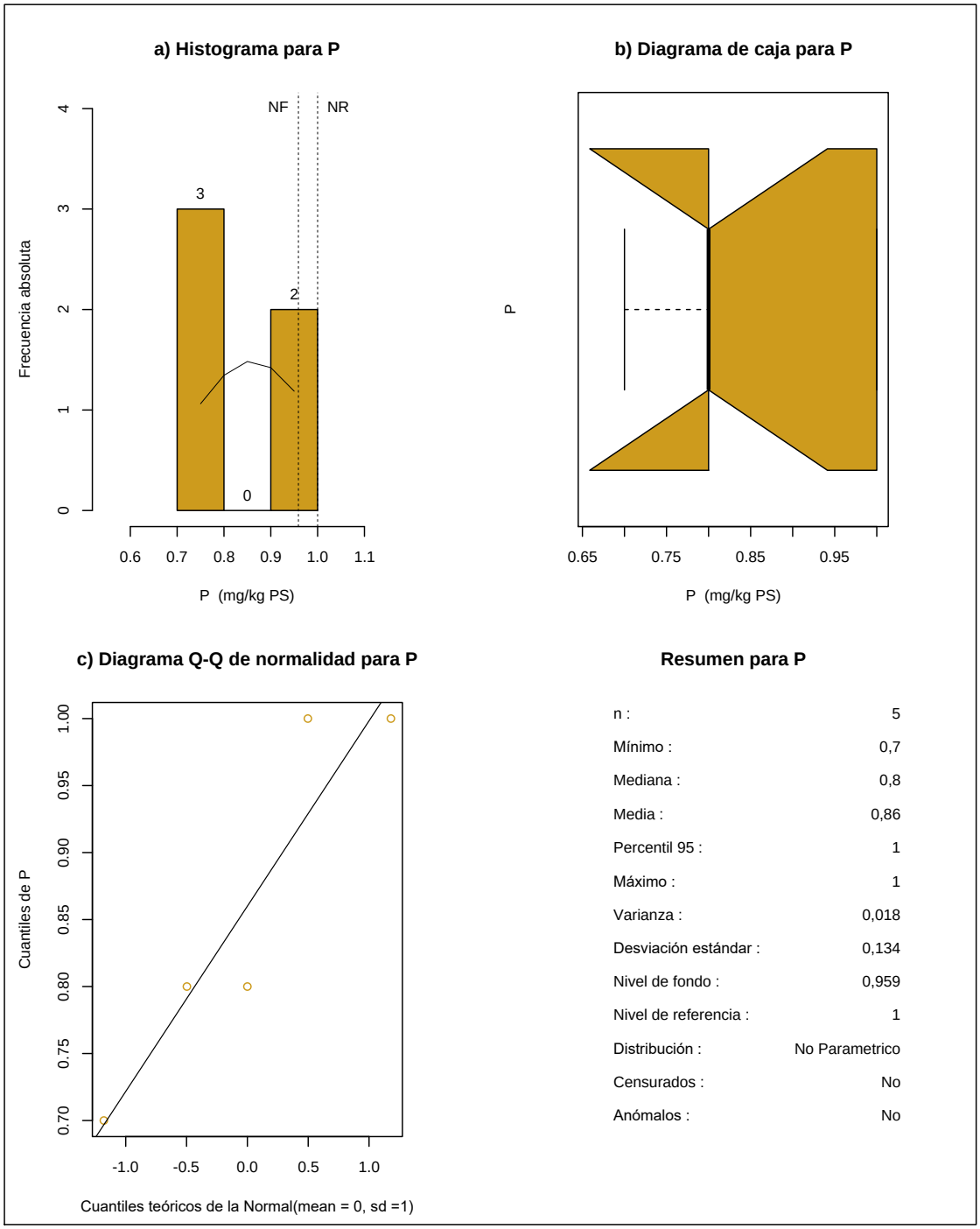


Figura 19. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de fósforo

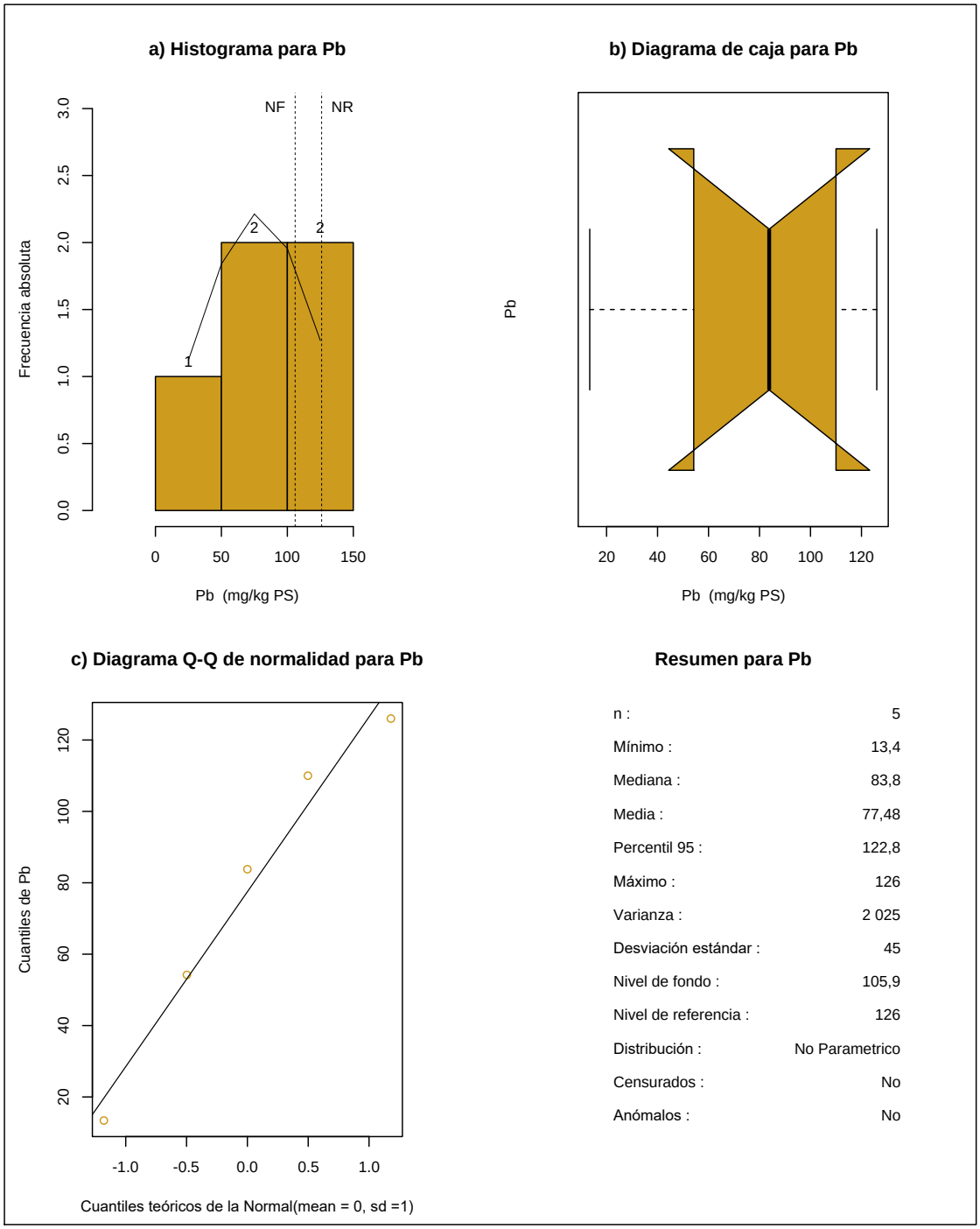


Figura 20. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de plomo

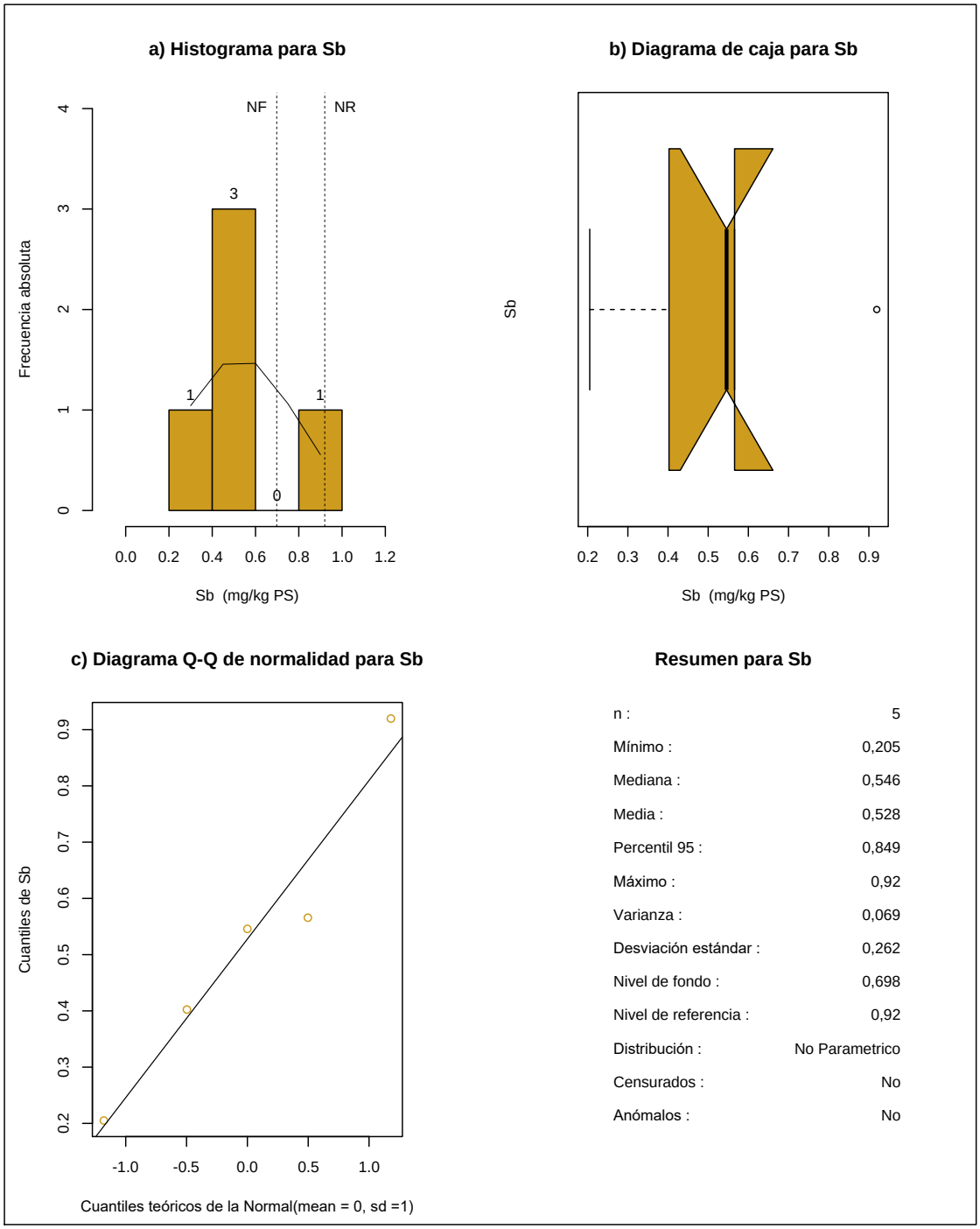


Figura 21. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de antimonio

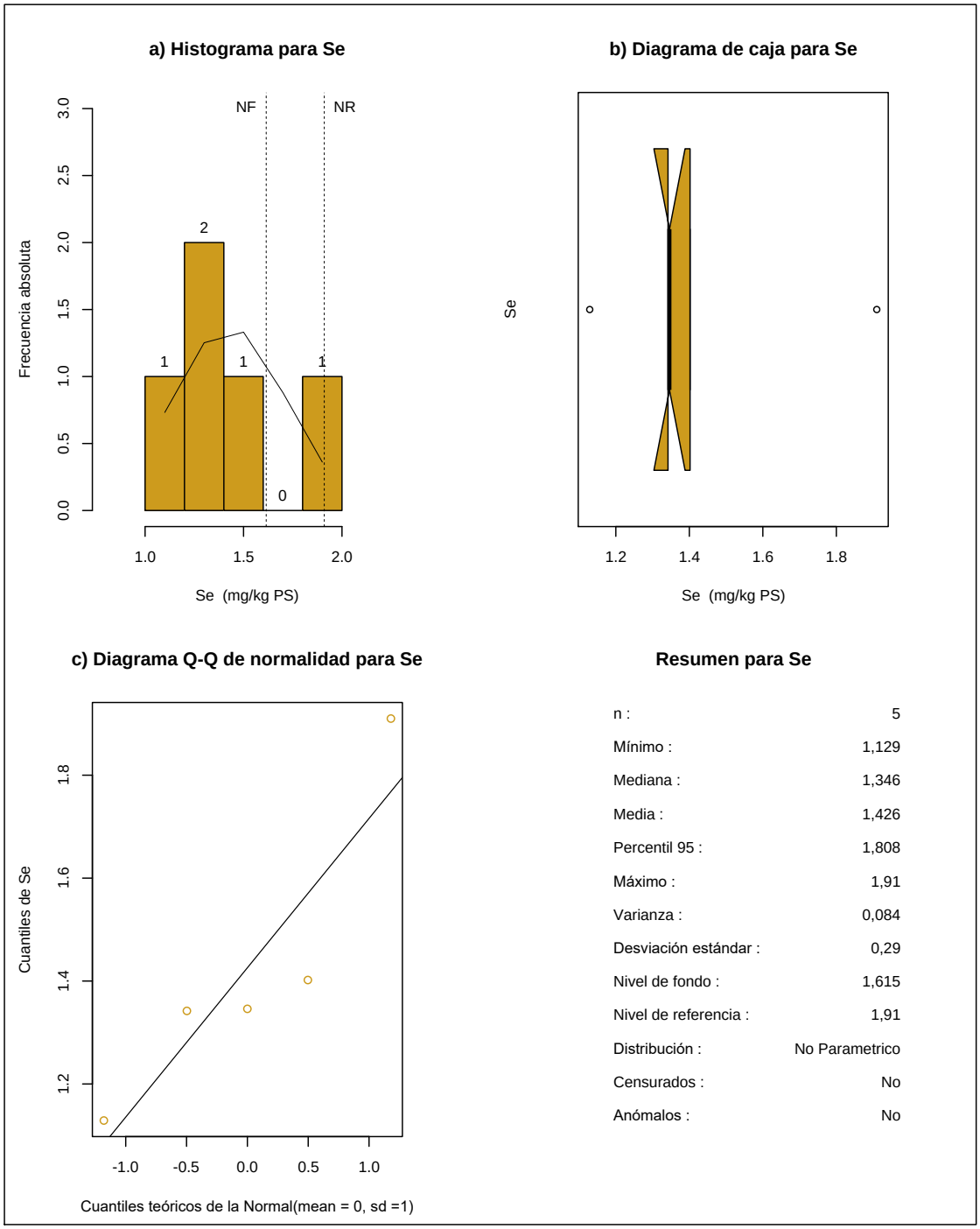


Figura 22. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de selenio

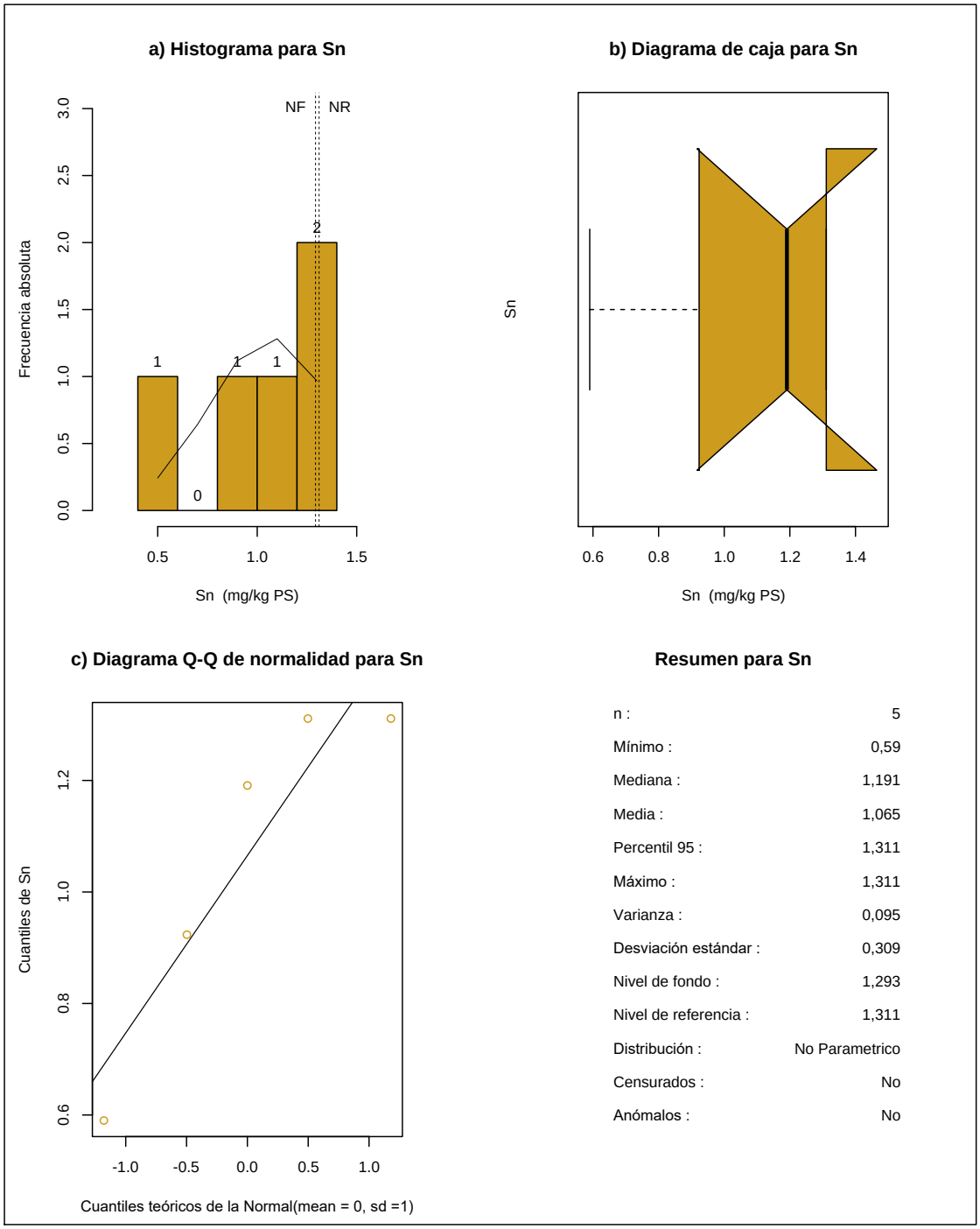


Figura 23. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de estaño

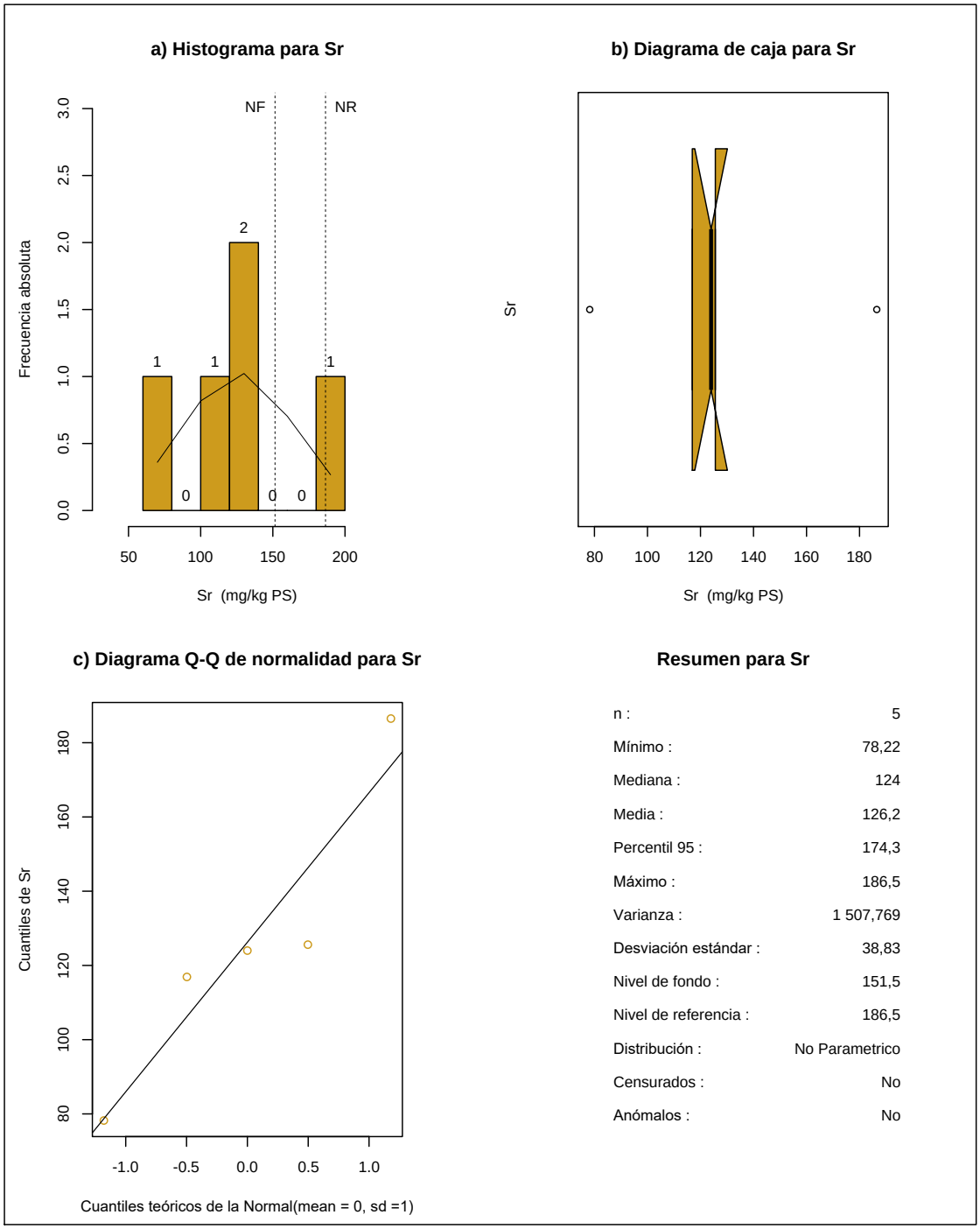


Figura 24. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de estroncio

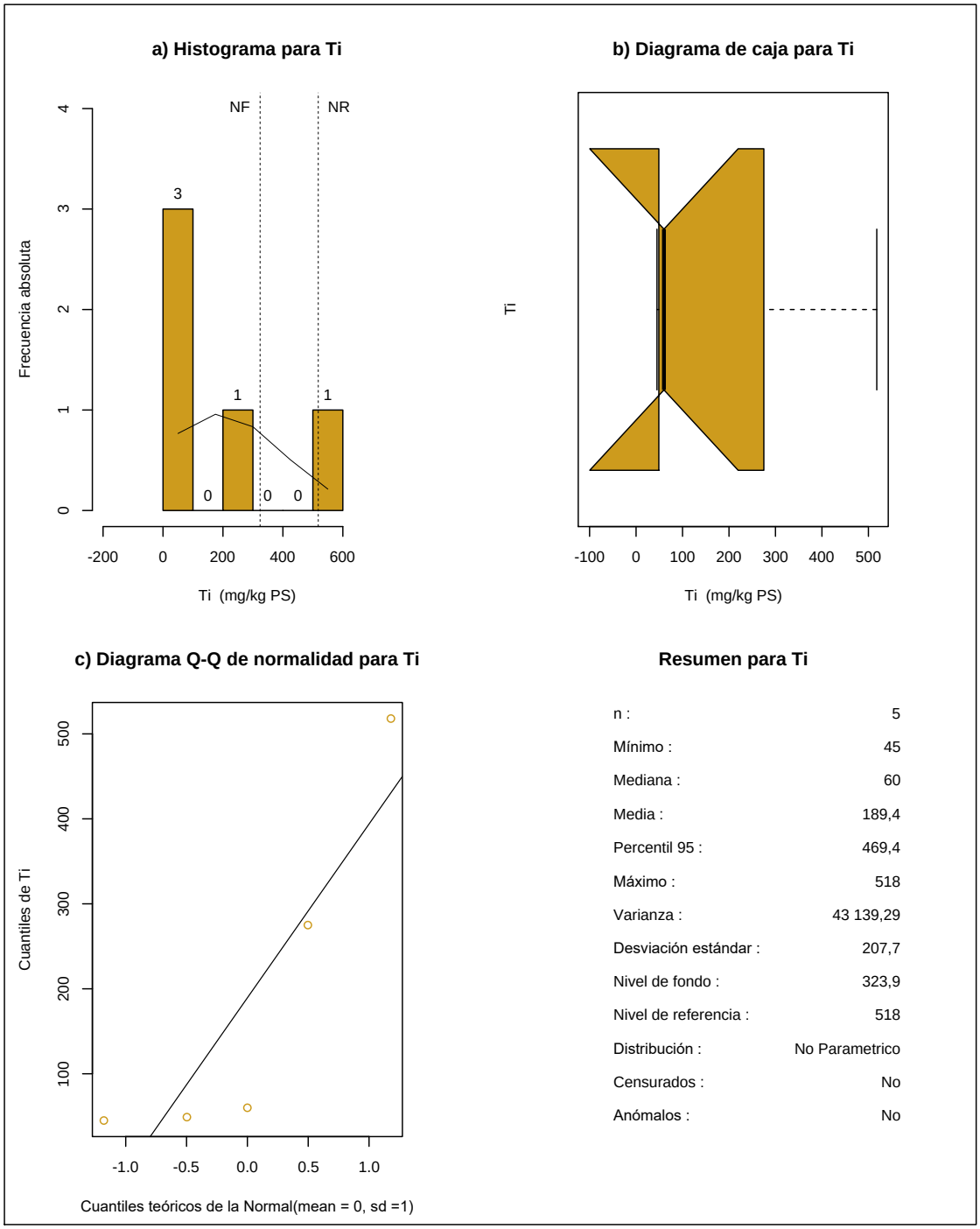


Figura 25. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de titanio

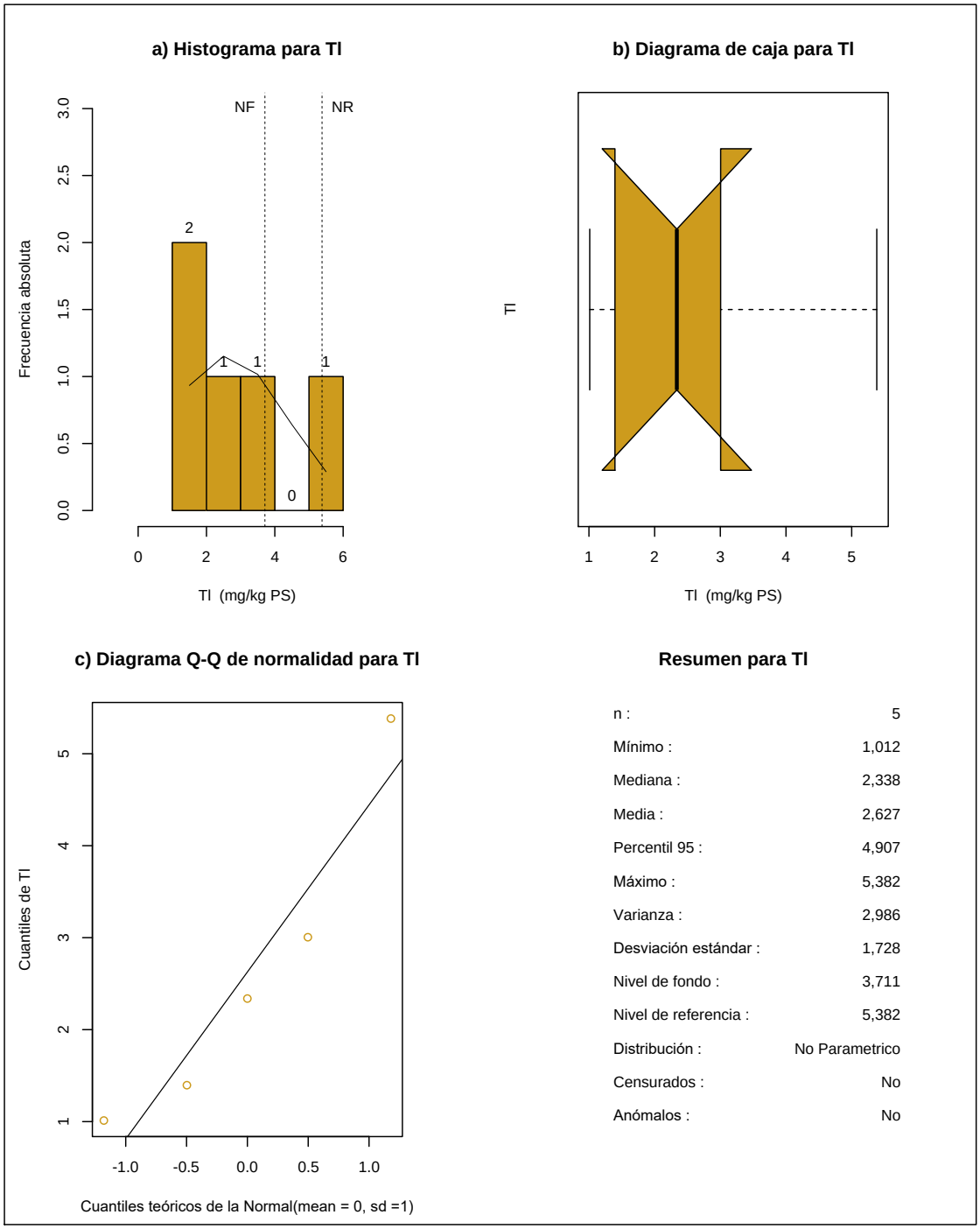


Figura 26. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de talio

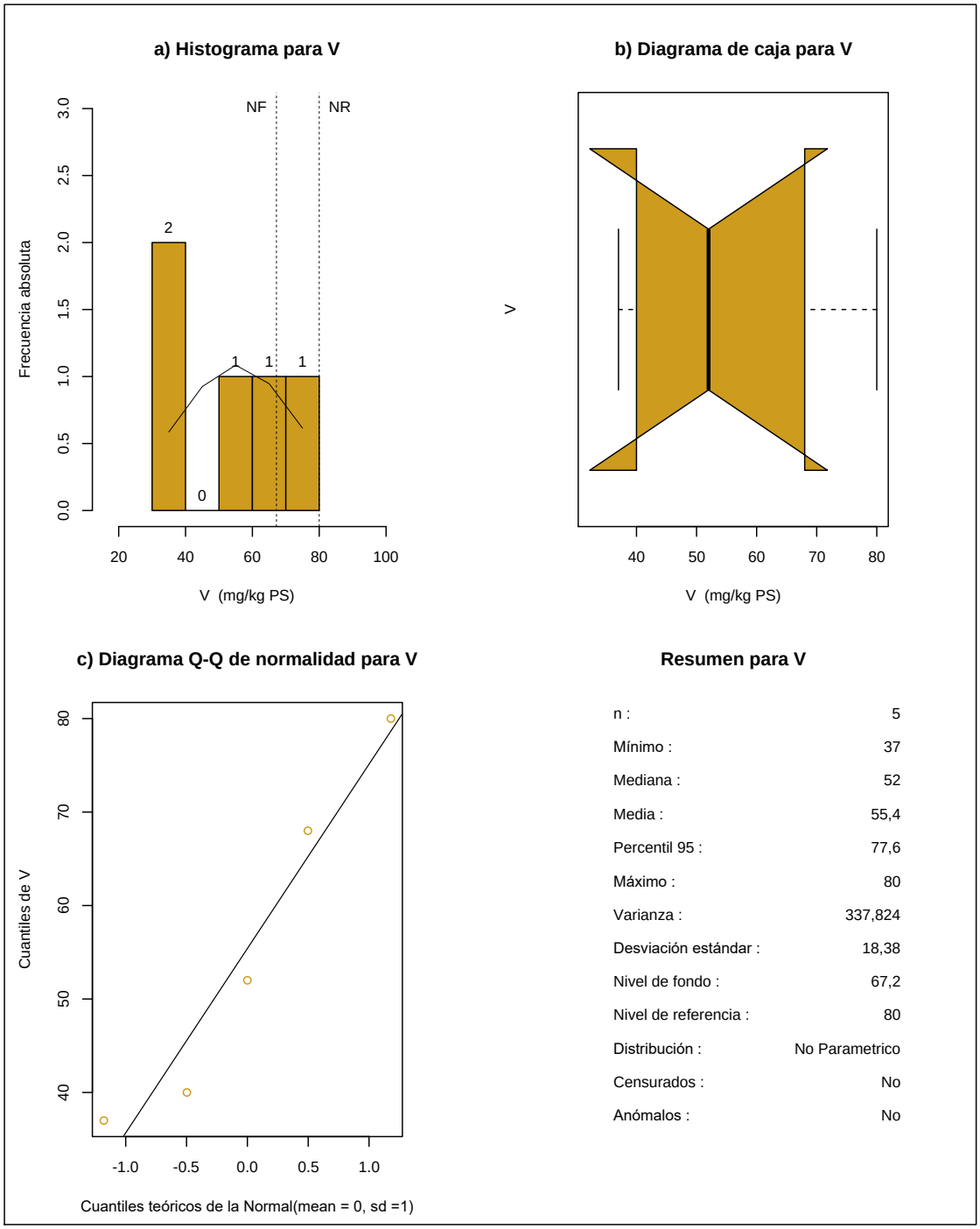


Figura 27. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de vanadio

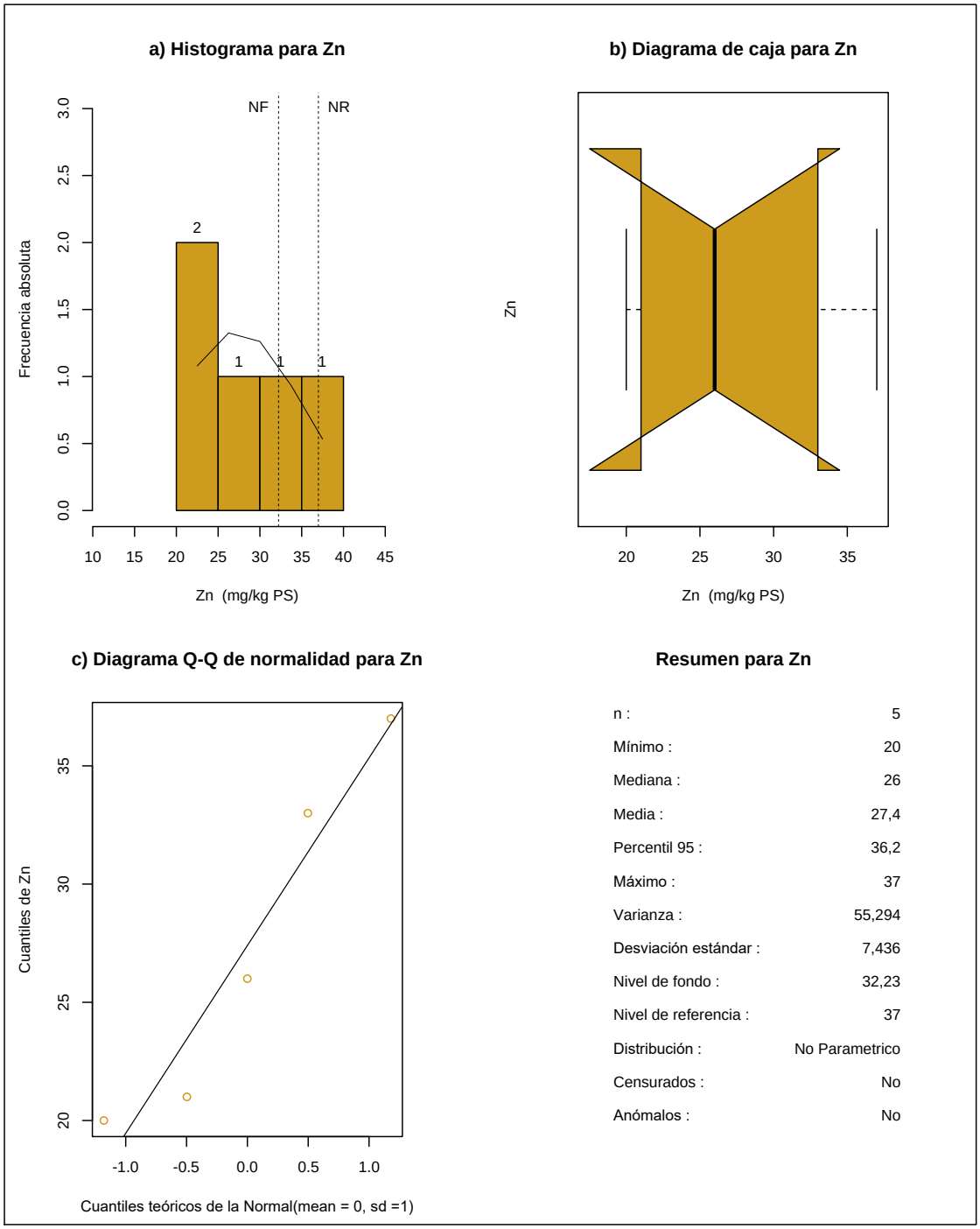


Figura 28. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de zinc

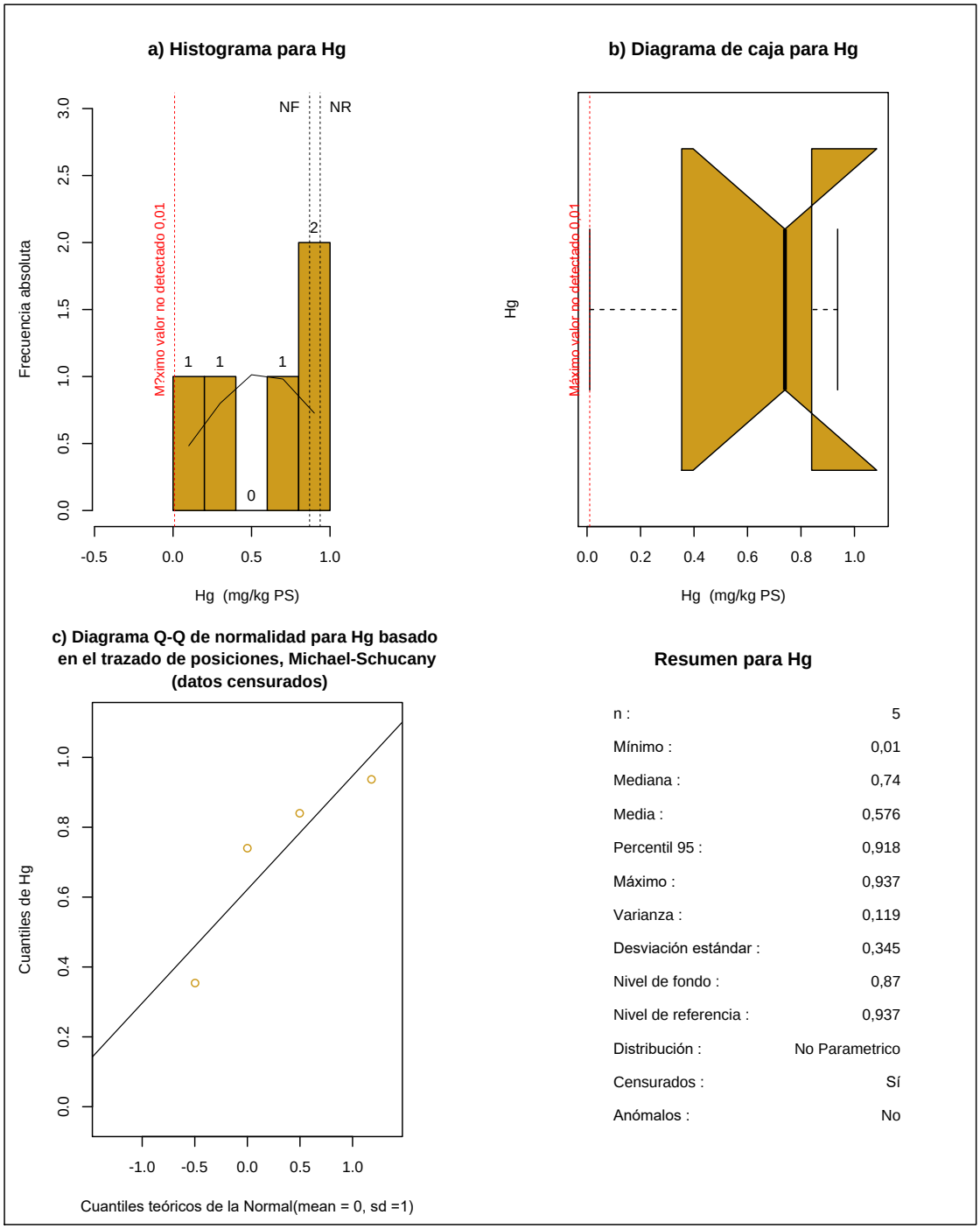


Figura 29. Representación gráfica del análisis exploratorio estadístico de las concentraciones de mercurio