

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



ELABORACIÓN DE UN MUESTRARIO DE TIERRAS DE LA ZONA
METROPOLITANA DEL MUNICIPIO DE SAN SALVADOR PARA FINES
FORENSES

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR
ALCIRA GRISELDA RUANO CAMPOS

PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIATURA EN QUÍMICA Y FARMACIA

JULIO 2004

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA.



©2004, DERECHOS RESERVADOS

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento,
sin la autorización escrita de la Universidad de El Salvador

<http://virtual.ues.edu.sv/>

SISTEMA BIBLIOTECARIO, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA

DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIA GENERAL

LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

DECANO

LIC. SALVADOR CASTILLO ARÉVALO

SECRETARIA

MSc. MIRIAM DEL CARMEN RAMOS DE AGUILAR

COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COORDINADORA GENERAL

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo

COORDINADORA DEL ÁREA DE GESTIÓN AMBIENTAL, TOXICOLOGÍA Y QUÍMICA LEGAL

Licda. María Luisa Ortiz de López

COORDINADORA DEL ÁREA DE GESTIÓN AMBIENTAL, CALIDAD AMBIENTAL

Licda. Cecilia Haydeé Gallardo de Velásquez

DOCENTES DIRECTORES

Licda. Dinorah Rodríguez de Laínez

Lic. Manuel Antonio Campos Escoto

AGRADECIMIENTO

A LA DIVISIÓN POLICÍA TÉCNICA Y CIENTÍFICA
DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL

A su personal:

Sub-com. Julio César Santana Vela

Sub-com. Edgard Lizama

Agte. Néstor Alexis González Sánchez

Licda. Aminta de Bolaños

En especial a los analistas del área de físico-químico:

Ing. Mercedes Elizabeth Argueta de Martínez

Lic. Manuel Antonio Campos Escoto

Licda. Maritza Liliana Cotto Rivas

Prof. Héctor Rogelio Murgas Domínguez

DEDICATORIA

A DIOS:

Por permitirme la oportunidad de superarme

A MIS PADRES:

Lic. Francisco Ruano y Lic. Alcira de Ruano

Por el empuje y apoyo incondicional que han dado a todos mis estudios

A MI FAMILIA:

A mi futuro bebé por darme ilusión y fe,

Francisco Javier Ruano; Gracias hermano...

Y a mi sobrino Javier Ruano González

A MIS AMIGOS:

Muy especialmente a mi mejor amiga Mireya Cortéz por sus aportes y más,

Con cariño muy sincero para el Arq. José Fuente,

Por su amor y apoyo incondicional,

Sin quienes este proyecto hubiese sido interminable.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO

I.	Introducción	xii
II.	Objetivos	15
III.	Marco Teórico	16
	3.1 Clasificación del suelo	16
	3.2 Recolección de muestras	21
	3.3 Análisis forenses de suelos	22
	3.4 Análisis físicos	23
	3.5 Métodos alternativos para análisis de suelos	27
	3.6 Análisis instrumentales	30
	3.7 Hipótesis	34
IV.	Diseño Metodológico	35
	4.1 Investigación bibliográfica	35
	4.2 Investigación de campo	35
	4.2.1 Tipo de estudio	35
	4.2.2 Universo y muestra	35
	4.3 Parte experimental	38
V.	Resultados	42
	5.1 Mapa de sectorización	44
	5.2 Tabulación de resultados	57
	5.3 Gráficos de resultados	71

5.4	Datos consolidados para el municipio	78
VI.	Discusión de Resultados	85
6.1	Interpretación de resultados	85
VII.	Conclusiones	89
VIII.	Recomendaciones	91
	Bibliografía	
	Anexos	

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO

- 1 Material y equipo
- 2 Sólido de colores de la tabla de Munsell.
- 3 Triángulo de determinación de campo
- 4 Triángulo Textural
- 5 Mapa de sectorización del Municipio de San Salvador
- 6 Fotografía de la ubicación Z3S14B
- 7 Tabla de Munsell para comparación en análisis de color
- 8 Columna de Tamices
- 9 Soluciones de Bromoformo y Bromobenceno
- 10 Estufa para análisis de porcentaje de humedad
- 11 Análisis microscópico
- 12 Centrifuga para el análisis de pH
- 13 Muestrario: parte del anverso
- 14 Muestrario: parte del reverso

ABREVIATURAS

DPTC : División Policía Técnica y Científica

PNC : Policía Nacional Civil

FBI : Federal Bouro of Investigations

P : Púrpura

PR : Rojo – Púrpura

R : Rojo

YR : Rojo – Amarillo

Y : Amarillo

GY : Verde – Amarillo

G : Verde

BG : Verde – Azul

B : Azul

PB : Azul – Púrpura

UES: Universidad de El Salvador

δ : Densidad en g/mL

Código de abreviaturas utilizadas en el resultado del análisis microscópico.

(creación propia para mejor entendimiento de los resultados)

Tipo

R = rocas

P = partículas

C = cristales

L = láminas

ABREVIATURAS: Cont....**Color**

C	=	café
N	=	negro
B	=	blanco
Be	=	beige
G	=	gris
R	=	rojo
T	=	transparente
A	=	anaranjado
Am	=	amarillo
V	=	verde
Cr	=	café rojizo
Cg	=	café grisáceo
Nv	=	negro verduzco
M	=	moteado
+	=	color brillante
-	=	color opaco

Forma

ES	=	esféricas
IR	=	irregulares
PL	=	polimórficas
AN	=	angulares
PU	=	puntiformes
PT	=	punteagudos
PR	=	prismáticas
OV	=	ovaladas
EP	=	esponjadas
AP	=	aplanadas
AL	=	alargadas
RE	=	redondeadas
FI	=	finas
AM	=	amorfas
CU	=	cúbicas
CI	=	cilíndricas
EL	=	elípticas

ABREVIATURAS: Cont....**Frec = Frecuencia**

mod = moderado

abun = abundante

Observaciones

Plast = Plasticidad

Pedreg = Pedregosidad

tam = tamaño

peq = pequeñas

med = medianas

gran = grandes

P = Poco

M = Medio

F = Fina

Textura

Código de la clase textural por tamaño de partícula (creación propia)

Código (abreviatura.)	Clase textural	Tamaño de partícula
Grava	Grava	3.400 mm
MG	Arena muy gruesa	1.700 mm
G	Arena gruesa	0.850 mm
M	Arena media	0.425 mm
F	Arena fina	0.250 mm
MF	Arena muy fina	0.100 mm
L+A	Limo y Arcilla	Menos de 0.100 mm

INTRODUCCIÓN

El suelo tiene un valor forense cuando es usado como ayuda en la investigación de un caso criminal ⁽¹¹⁾. Por lo tanto es correcto asumir que las propiedades del suelo que pueden ser observadas y medidas directamente, ofrecen un gran valor como Evidencia. Pero su valor depende de la variación del suelo en la escena de un crimen, ya que éste puede variar ampliamente en la superficie de la tierra y en la profundidad de ésta. Por ello se prefieren muestras pequeñas⁽⁴⁾.

La importancia de esta Evidencia es que se pueda relacionar en un hecho delictivo, un sospechoso con un lugar del delito; por medio de la comparación de las muestras obtenidas directamente del lugar de los hechos y la Evidencia recolectada de la ropa, zapatos o vehículo del sospechoso.

Este proyecto contiene información exploratoria sobre lo que es el suelo como Evidencia; y de los diversos métodos que se pueden utilizar para su caracterización y comparación. Se han tomado en cuenta análisis que son comunes en el área forense, otros análisis que no son forenses y métodos instrumentales con equipos modernos, que aún no se realizan en el país.

En el presente trabajo se encontrarán fundamentos y procedimientos de la mayor parte de los análisis que se requieren para la determinación de las características físicas del suelo; tomando en cuenta que éstos fueran factibles de realizar dentro de las posibilidades del Laboratorio de la D.P.T.C. de la P.N.C., lugar donde se realizaron dichos análisis.

Con respecto a los antecedentes del presente proyecto tenemos que a nivel internacional se han encontrado estudios del suelo como Evidencia, el cual se ha sometido a diversos análisis para la determinación de sus características principales. Lo antes mencionado se ha obtenido de información proporcionada a la D.P.T.C. de la P.N.C. por investigadores españoles, mediante una recopilación de información referente a este tipo de análisis. Y por libros de otros países, como Estados Unidos, donde ya se toman en cuenta estos análisis de suelos para contribuir a la resolución de delitos.

En El Salvador, desde que surgió la criminalística, no se ha realizado un trabajo de investigación que se dedique al análisis de tierras, como una Evidencia probatoria para la resolución de un delito. Por lo tanto no existen precedentes en el país de proyectos que busquen determinar las características del suelo con fines de identificación y comparación forense.

Así mismo dentro de la criminalística se toma en cuenta el análisis físico del suelo como Evidencia, desde el momento en que se encuentra como parte de la escena de un delito hasta realizar el análisis correspondiente. De esta manera el problema radica en que se necesita un patrón de comparación (con el cual actualmente no se cuenta), para poder cotejar una Evidencia recolectada de prendas de vestir, zapatos, automóviles y otros; con un muestrario de tierras donde se especifiquen las características principales y determinar si tiene origen común con alguna de ellas, hasta incluso tratar de inferir la zona que puede presentar estas mismas características.

El proyecto surge como una necesidad de proporcionarle a la D.P.T.C. de la P.N.C. un muestrario de tierras, técnicamente seleccionadas para usarse como patrón de comparación del área metropolitana del municipio de San Salvador; el cual le servirá de base para futuras investigaciones; y que será de gran utilidad para la institución en la resolución de este tipo de casos.

A conveniencia de la D.P.T.C. de la P.N.C. y del sistema Judicial en general, se espera obtener mayor agilidad en la resolución de los casos con este tipo de Evidencias; además de tener un elemento más para la realización de un análisis.

En la realización del trabajo, una de las dificultades fue el no realizar el muestreo en alguno de los lugares indicados, debido a que dicho lugar pertenecía a un área privada donde no se permitía el acceso, o porque el área había sido modificada por construcciones; esto se resolvió buscando un lugar aledaño para poder tomar la muestra que representaba a dicho sector.

OBJETIVOS

1.0 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un muestrario de tierras de diferentes zonas del área metropolitana del municipio de San Salvador para fines forenses.

2.0 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Ubicar y fotografiar las zonas a muestrear para dejar plasmadas las características originales de las regiones estudiadas.
- 2.2 Hacer un muestreo representativo de los diferentes sectores del municipio de San Salvador, que presentan tierra dentro de su área.
- 2.3 Realizar los diferentes análisis físicos a las muestras de tierra, de las áreas muestreadas.
- 2.4 Identificar las características de las muestras de tierras y de los sectores muestreados.
- 2.5 Presentar un muestrario de tierras que sirvan como patrón o material de comparación para futuras investigaciones.

MARCO TEÓRICO

El suelo es la superficie de la tierra que está formada por una mezcla compleja de minerales, agua, aire y materia orgánica de vegetales y animales, que se han constituido durante el proceso de formación del suelo; proceso influenciado por la topografía, el clima, la roca madre, el período y la actividad humana⁽⁷⁾.

Para propósitos forenses, el suelo es todo material de la tierra que ha sido colectado, accidental o deliberadamente, y tiene alguna asociación con un asunto en investigación.

Y como hoy en día el suelo puede ser una Evidencia testigo de un delito, se hace necesario transportarlo al laboratorio y hacerle ciertos análisis físicos de caracterización, que determinen si hay relación de dicha Evidencia con un lugar y/o con un sospechoso.

Para poder lograr la identificación de la tierra de una determinada región, es necesario conocer sus características físicas, dentro de las cuales las más comunes son: El color, la textura, el gradiente de densidad, la humedad y el análisis microscópico.

Clasificación del suelo⁽¹⁰⁾

El suelo se puede clasificar según sus propiedades en varias categorías, dentro de las cuales tenemos las siguientes:

a) Según su Textura:

TABLA N° 1: Cuadro de porcentajes de arena, limo y arcilla⁽¹⁰⁾.

Denominación	% arena	% limo	% arcilla
Arena	85-100	0-15	0-10
Arena migajosa	70-90	0-13	0-15
Migajón arenoso	43-80	0-50	0-20
Franco	23-52	28-50	7-27
Migajón limoso	0-50	50-88	0-27
Limo	0-20	80-100	0-12
Migajón arcilloso arenoso	45-80	0-28	20-35
Migajón arcilloso	20-45	15-23	27-40
Migajón arcilloso limoso	0-20	40-70	27-40
Arcilla arenosa	45-65	0-20	35-45
Arcilla limosa	0-20	40-60	40-60
Arcilla	0-45	0-40	40-100

b) Según su Consistencia:

La consistencia del suelo se define como la resistencia de este material a la deformación o a la rotura, así como también el grado de cohesión o adherencia de la masa del suelo.

- Suelo mojado: Es el que contiene una cantidad de humedad algo mayor a la capacidad del terreno. Se caracteriza por sus propiedades de adherencia; y puede ser no adherente, ligeramente adherente, adherente y muy adherente.

- Suelo húmedo: Es el que contiene una cantidad de humedad aproximadamente entre el suelo secado al aire y la capacidad del terreno. La resistencia del material del suelo decrece con el contenido de humedad. Se caracteriza por estar entre suelta, muy friable, friable, firme, muy firme, o extremadamente firme.

- Suelo seco: Es el que contiene una cantidad de humedad secada al aire. Se caracteriza por sus propiedades de friabilidad, rigidez, resistencia máxima a la presión. Y puede ser suelta, suave, ligeramente dura, dura, muy dura y extremadamente dura.

- Suelo cementado: Es el que es poco alterado por el humedecimiento. La dureza y friabilidad persisten en condiciones húmedas. La cementación del suelo es una consistencia dura causada por sustancias cementantes como carbonato de calcio (CaCO_3), óxido de silicio (SiO_2) u óxidos o sales de hierro o aluminio. Estos pueden ser débilmente cementados, fuertemente cementados y endurecidos.

c) Según su Plasticidad:

La plasticidad es la propiedad del suelo que se refiere a la posibilidad de que su masa cambie de forma al someterla a una determinada presión y de retener esta forma adquirida al eliminar la presión. Pueden ser: No plásticos, ligeramente plásticos, plásticos y muy plásticos.

d) Según su Velocidad de infiltración:

Infiltración: es la penetración del agua en el suelo.

- Muy lenta: Es la que presentan los suelos que tienen alto contenido de arcilla.
- Lenta: Incluye suelos con alto porcentaje de arcilla y bajo contenido de materia orgánica, o suelos delgados.
- Media: Es la que presentan los suelos migajones, arenosos o limosos.
- Rápida: Es la que presentan los suelos de arenas y migajones limosos profundos, y de buena agregación.

Clasificación del suelo en San Salvador⁽⁸⁾

En el departamento de San Salvador se han encontrado los siguientes tipos de suelos:

- a) Andosoles: Estos suelos se han desarrollado de materiales piroclásticos (cenizas volcánicas). Se encuentran en regiones del volcanismo reciente, principalmente en las faldas y tierras altas de volcanes y masizos volcánicos, alturas superiores a 800 m sobre el nivel del mar.
- b) Alfisoles o Latosoles arcillo rojizo: Son suelos que cubren mayor extensión, se reconocen por su color rojo, con variaciones en su tonalidad, y por su textura arcillosa.
- c) Etisoles o Regosoles: son suelos jóvenes o que carecen de horizonte de diagnóstico, no se distinguen todavía características adquiridas. Compuestos de materias no consolidados, frecuentemente del tamaño de arenas.
- d) Litosoles: Son suelos que han estado sujetos a severa erosión.

e) Inseptisoles o suelos de origen aluvial: son suelos jóvenes como los regosoles, aún sin horizonte genético, a no ser por algunos estratos oscuros superficiales. La diferencia con regosoles es que estos se desarrollan de materiales transportados por agua, compuestos de material de depositación fluvial.

También se reconocen los suelos jóvenes, maduros y seniles.

Jóvenes: Son los que están en el inicio de su formación, su perfil no ha sido desarrollado, carecen de horizonte de diagnóstico.

Maduros: Cuando las características heredadas o genéticas están bien establecidas en condiciones de equilibrio con el medio ecológico.

Seniles: Cuando el suelo llega al desequilibrio que conduce a una degradación paulatina del suelo; lo que origina cierta inmovilidad dentro de la actividad de las arcillas del suelo.

Durante todo el proceso de investigación del suelo como Evidencia se ha planteado el procedimiento a seguir. El cual se realiza desde la recolección de la muestra, su transporte al Laboratorio, hasta el proceso de análisis macroscópico y microscópico; por medio de los cuales se determinan sus características físicas.



RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Para que el resultado de un análisis sea confiable, debe de iniciarse con una recolección de muestras adecuada y representativa. Para ello se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- a) El área a muestrear debe ser observada cuidadosamente antes de remover cualquier tierra.
- b) Es apropiado documentar la apariencia original del lugar de la recolección del suelo usando fotografías a color. Las muestras pueden ser etiquetadas en forma que se relacionen a las áreas en la fotografía.
- c) La cantidad de muestra debe ser como mínimo de 10 g, pero no debe exceder los 100 g, según el F.B.I.⁽⁶⁾; ya que los análisis suelen ser con cantidades muy pequeñas de muestras⁽¹³⁾.
- d) El número de muestras varía según la heterogeneidad del lugar (que se note cambio de color en el área) y su extensión; recolectando entre 3 y 5 muestras^(6,13), para poder compararlas entre sí y determinar en qué medida sus características son estables, y por lo tanto confiables. Estas muestras se empacan separadamente⁽⁷⁾.
- e) La distancia entre la obtención de cada muestra puede variar desde 3 m hasta casi 50 m, si el terreno es abierto.
- f) La mayoría de las muestras se obtienen de la superficie del suelo⁽⁶⁾ y aproximadamente entre 5 cm ó 10 cm de profundidad, a menos que la zona presente excavaciones o diferencia de los estratos a simple vista.

Para la remisión de las muestras debe de tenerse el cuidado de identificarlas adecuadamente, con el nombre y la localización del lugar; embalarlas en recipientes individuales, preferiblemente en recipientes con tapadera de rosca para evitar derrames. Si se recolectan varias capas, intentar extraerlas completamente y depositarlas de manera que se observen los estratos de éstas⁽⁶⁾.

ANÁLISIS FORENSES DE SUELOS

Para realizar los análisis de suelos con fines forenses, se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones⁽⁶⁾:

- a) Usar métodos de análisis que no sean destructivos.
- b) Que los métodos a utilizar puedan desarrollarse con pequeñas cantidades de muestras.
- c) Que los métodos de análisis planteados sean factibles de realizar en el Laboratorio de la D.P.T.C. de la P.N.C., quienes se encargarán de darle continuidad al proyecto por medio de la realización de dichos análisis.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra a analizar se observa al microscopio estereoscópico; se separan en forma mecánica los materiales que no pertenezcan a la tierra (vidrios, fibras, restos vegetales, etc.)⁽¹³⁾; luego se trata de homogenizar la muestra mecánicamente, pulverizando los terrones grandes con la mano, utilizando para ello guantes desechables.

Se realiza la solubilidad tomando aproximadamente 15 mg de muestra y colocándola en una caja de petri, a la cual se le agrega más o menos 0.5 mL de agua y se agita, obteniendo la muestra disuelta, posteriormente se determina el color que el agua toma^(5,12).

El resto de la muestra se expande sobre papel blanco; mezclar por cuarteo para asegurarse que la porción tomada tenga representatividad de toda la muestra⁽³⁾. La cual se deja secar al aire libre para determinar sus características físicas que puedan identificarla. De esta forma la muestra estaba lista para que se le realizaran todos los análisis pertinentes.

ANÁLISIS FÍSICOS

COLOR

El color es el primer análisis que se realiza en el laboratorio, ya que es una de las características más importantes de identificación del suelo⁽¹¹⁾. El color del suelo es el resultado de una mezcla de elementos⁽⁷⁾, y depende de la cantidad y tamaño de los minerales presentes, de la cantidad de materia orgánica, del humus y de la antigüedad del suelo (cuando el suelo tiene una buena cantidad de tiempo depositado en ese lugar).

Los colores cercanos al color negro suelen deberse a la antigüedad del suelo, a la presencia de materia orgánica y al humus; los colores rojizos se les atribuye a la presencia de arcilla o hierro; el color amarillo puede deberse a la presencia de arena; el verde suele ser por recubrimientos minerales⁽¹⁰⁾; y así se encuentran diversos tipos

de colores de acuerdo a los componentes antes mencionados, que posee el suelo en determinado lugar.

El color, en una investigación forense, se mide por medio de tablas desarrolladas por Munsell, tomando en cuenta las tres variables del color que son: el tono (hue), la luminosidad (value) y la saturación (chroma)⁽¹³⁾.

Tono: Es la variación cualitativa del color y se refiere al color espectral; este se ha dividido en 10 secciones de la siguiente manera: PR, R, YR, Y, GY, G, BG, B, BP y P. Además cada una de estas secciones se subdivide en 10 partes denominadas del 1 al 10⁽⁶⁾; según se acerque por ejemplo un amarillo al rojo (1Y), a un amarillo intermedio (5Y) o un amarillo cercano al verde (10Y). Ver anexo N° 2.

Luminosidad: Es la capacidad de reflejar la luz y se refiere a la tenuidad de la luz, en función de la cantidad total de luz, indicada como un color claro o un color oscuro. Se mide del 1 al 10, según se acerque al negro (1) o al blanco (10)⁽⁶⁾.

Saturación: Es la máxima fuerza o pureza del color espectral, y aumenta conforme disminuye el gris; un 9 es un color virtualmente puro y un 1 se acerca al gris neutro⁽⁶⁾.

El color se determina por observación visual.

Ver sólido de colores de Munsell en anexo N°2

TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de las partículas es una propiedad fundamental del suelo, usada ampliamente por los científicos para la caracterización del suelo⁽¹³⁾. El método más elemental de separación de las partículas en función de su tamaño, es el tamizado, y la cantidad de partículas de cada serie de tamaño (clase granulométrica) es un elemento de comparación de dos muestras⁽⁷⁾.

El propósito es obtener muestras para estudios comparativos que sean similares, ya que la muestra control puede tener partículas de diferentes tamaños que la muestra dubitada⁽⁶⁾. Además que las muestras puedan ser divididas en sub-muestras, en las cuales todas las partículas estén en el mismo rango de tamaño. Y que la prueba en sí pueda usarse como un método de comparación⁽¹¹⁾.

GRADIENTE DE DENSIDAD

La densidad de una partícula sólida es su peso por unidad de volumen, y se expresa en g/mL. La densidad es diferente para cada partícula y depende de los minerales presentes y de su composición química⁽¹¹⁾.

La técnica que ha sido usada para comparación de suelos con propósitos forenses es la columna de gradiente de densidad⁽¹¹⁾. Las partículas de suelo o agregados caen en la columna en una posición donde estén rodeadas de líquido de la misma densidad y quedan suspendidas en ese punto⁽⁶⁾.

Este método requiere que un tubo de gradiente de densidad sea usado por cada muestra, y es importante que cada gradiente sea hecho de la misma manera^(3,11).

HUMEDAD

La humedad es la cantidad de agua que el suelo contiene. Se expresa en porcentaje, en base al peso del suelo seco⁽²⁾.

El agua es uno de los componentes del suelo que más varía, ya que el suelo tiene distintas capacidades para la retención de agua.

ANÁLISIS MICROSCÓPICO

El gran número de tipos de minerales y la diversidad de estos de lugar a lugar, como resultado de los procesos geológicos, ayudan a la identificación específica de los minerales y rocas encontrados en los suelos, y ofrecen un gran potencial en la discriminación entre muestras de suelos⁽¹¹⁾.

La observación al microscopio puede usarse para obtener un perfil mineralógico de una muestra de suelo.

DETERMINACIÓN DE pH

El pH es un parámetro para la caracterización del suelo. Se ha establecido que el pH se puede determinar en muestras tan pequeñas como de 50 mg con un error de 0.5 unidades de pH. La variación de pH puede ser significativa, incluso en suelos con el mismo color en seco^(6,11). Esta variación puede ser muy útil para la comparación de dos muestras de suelo.

En este caso de muestreo se tiene una muestra única totalmente desconocida. Este tipo de análisis de muestreo permite que la interpretación sea hecha en referencia particular de la localidad en consideración, y no como basada en experiencias

pasadas del analista. De esta manera la opinión del resultado se emite como “la muestra podría provenir del sector x o y”. No como “ambas muestras en comparación podrían provenir de un origen común”⁽⁶⁾.

METODOS ALTERNATIVOS PARA ANÁLISIS DE SUELOS

Estos métodos son otras alternativas de análisis, pero no se realizan dentro del laboratorio de la D.P.T.C. de la P.N.C. por diversos motivos, como falta de equipo o poca factibilidad.

TEXTURA⁽¹⁰⁾

La textura del suelo se refiere a la porción relativa de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. Específicamente la clasificación de la textura se basa en la cantidad de partículas menores de 2 mm de diámetro. Si son mayores entonces el suelo es gravoso o pedregoso. En términos generales se divide en textura fina y textura gruesa.

Procedimiento:

La determinación de campo consiste en tomar entre los dedos una pequeña porción de suelo, humedecerlo y frotarlo. El predominio de arena da una sensación rasposa, como de lija; el predominio de limo da una sensación a jabón; el predominio de arcilla

da una sensación pegajosa y moldeable y la presencia de suelos francos da una sensación moldeable en cordones.

El resultado se expresa como dominancia de: arena o limo o arcilla.

Ver en anexos N° 3 y N° 4 el triángulo textural por determinación de campo, y su base el triángulo textural.

Para determinar la textura según la variación del diámetro se tienen dos sistemas: El sistema americano y el sistema internacional. Datos que puede obtenerse a partir de los resultados del análisis de tamaño de partícula.

TABLA N° 2: Separación del suelo según la variación del diámetro de partícula⁽¹⁰⁾.

Fracciones	Límite en diámetros (mm)	
	Sistema americano	Sistema internacional
Arena muy gruesa	2.0-1.0	-
Arena gruesa	1.0-0.5	2.0-0.2
Arena media	0.5-0.25	-
Arena fina	0.25-0.10	0.2-0.02
Arena muy fina	0.10-0.05	-
Limo	0.05-0.002	0.02-0.002
Arcilla	Menos de 0.002	Menos de 0.002

HUMEDAD

Además del método gravimétrico, existen dos métodos más para determinar la humedad de un suelo, pero que no se usan en las ciencias legales.

Estos métodos son⁽¹⁰⁾:

- a) Método del tensiómetro: Depende de la medida de la tensión de equilibrio de la humedad del suelo, por medio de un tensiómetro. Los tensiómetros son más útiles para medir la humedad de suelos arenosos que para medir suelos arcillosos.
- b) Método por conductividad eléctrica: Se basa en los cambios de la conductividad eléctrica según la humedad del suelo.

DENSIDAD⁽¹⁰⁾

Estos métodos no son de aplicación forense:

- a) Método de excavación: Consiste en excavar un cuadro en el suelo, pesar la cantidad de muestra extraída; luego colocar una bolsa plástica en el espacio excavado y llenar el espacio con agua, posteriormente se mide la cantidad de agua que ocupó ese espacio. Luego se hace el cálculo del peso sobre el volumen.
- b) Método del cilindro: Consiste en rasar un cilindro de volumen conocido con tierra, y luego pesar la muestra obtenida. Se calcula el peso sobre el volumen. Para esto se necesita que el cilindro tenga filo en su extremo; y medir su diámetro interno y su altura para conocer su volumen.

ANÁLISIS INSTRUMENTALES

Para la determinación de la distribución del tamaño de partícula:

- Difracción láser⁽⁶⁾: Se basa en que cuando la partícula esférica es iluminada por un rayo paralelo de luz monocromática, coherente, se forma un patrón de difracción; el cual es grande comparado con la imagen geométrica de la partícula y se superpone sobre ella. Al colocarse un lente en la trayectoria de la luz, después de la partícula, y un detector en el plano focal; la luz no difractada se enfoca hacia un punto del eje, la luz difractada forma un modelo de anillos alrededor del punto central. La distribución de la intensidad oscila con amplitud fuertemente decreciente a medida aumenta el radio.
- Pipeta de Robinson⁽⁶⁾: Consiste en dispersar el suelo en agua y calcular el tiempo requerido por las partículas, de varios tamaños, para dejar de estar en suspensión. Basado en la ley de Stokes, se establece que la velocidad de sedimentación de las partículas depende de su diámetro medio, por lo que las partículas más grandes caerán más rápido.

$$V = \frac{2}{9} \frac{g r^2 (d - d')}{n} \quad (6,11)$$

V = velocidad de sedimentación

g = gravedad

r = radio

d = densidad de la partícula

d' = densidad del fluido

n = viscosidad del fluido

Para la determinación de la composición geológica:

- Microscopio de luz polarizada⁽³⁾: Se basa en que las propiedades ópticas pueden usarse para identificar granos minerales, y la propiedad que se determina es el índice de refracción. Muchos de los cristales no son isotrópicos, es decir que tienen un solo índice de refracción a cualquier longitud de onda, sino que pueden tener 2 ó 3 índices, entonces son anisotrópicos o birrefringentes. El proceso consiste en colocar una fracción de suelo en un portaobjetos y agregarle una gota de bálsamo de Canadá, luego se observa al microscopio de luz polarizada. Su interpretación se hace en base a tablas de los índices de refracción de los diferentes minerales que pueden existir en el suelo.

- Difracción de rayos X⁽⁶⁾: El método se basa en la disposición de los átomos, iones y moléculas dentro de una muestra. Se analiza la muestra haciendo pasar rayos X a través de un cristal y midiendo el ángulo de la difracción de dichos rayos. El principio se basa en la ley de Bragg:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

n = orden de reflexión

λ = longitud de onda de rayos X

d = espacio reticular dentro del cristal

θ = ángulo de reflexión oblicuo

La interpretación es medir los espacios y las intensidades aproximadas del difractograma.

- Análisis térmico diferencial⁽⁶⁾: El principio se basa en medir la absorción o emisión de calor de una muestra, al ser calentada en forma continua en un intervalo de temperatura. Esto se debe a que en equipos modernos es posible medir simultáneamente las diferencias de temperatura que ocurren debido a reacciones químicas o cambios físicos en comparación con un material inerte y también cualquier cambio de peso. El material a identificar se calienta en un horno especial, en el que la temperatura se puede elevar a velocidad lineal partiendo de temperatura ambiente hasta casi 1000 °C. La interpretación consiste en observar que los termogramas sean similares.

- Absorción atómica⁽⁶⁾: Consiste en enviar a la muestra una radiación electromagnética, que no siempre cae dentro del espectro visible, y comparar la radiación transmitida con un patrón. El elemento de interés se convierte al estado de vapor atómico por medio de una llama.

- Fluorescencia de rayos X⁽⁶⁾: Los espectros de rayos X característicos se excitan cuando se irradia un espécimen con un haz de radiación X, de longitud de onda corta. Las intensidades de rayos X fluorescentes son 1000 veces más bajas que la de un haz de rayos X obtenido con excitación directa con electrones. Es necesario acumular cierto número de cuantos en el detector para que el error estadístico se reduzca lo suficiente. La sensibilidad del análisis es la concentración detectable más baja de determinado elemento en el espécimen, y depende de la relación pico-radiación de fondo para las líneas espectrales.

- Termoluminiscencia⁽⁷⁾: Es la emisión luminosa producida por algunos minerales cuando se calientan por debajo del punto de incandescencia. La curva de termoluminiscencia (intensidad de luz/temperatura) varía según el material. La muestra se expone a radiaciones de Cesio-137 o Cobalto-60, luego se calienta y se mide su termoluminiscencia.

- Cromatógrafo de gases⁽³⁾: Consiste en analizar el cromatograma obtenido por cualquiera de las siguientes dos técnicas: a) El suelo es extraído con un solvente que luego es analizado en el cromatógrafo de gases. b) Una porción de suelo es calentada en una atmósfera de gas inerte para pirrolizar el componente orgánico. Y esta mezcla de gases que se ha producido (el pirrolizado) es la que se examina en el cromatógrafo de gases.

- Cromatógrafo de alta eficiencia^(6,12): Es una técnica nueva que aún no ha sido estandarizada para estos casos. Consiste en establecer valores de relación de absorbancia para los componentes predominantes en la comparación entre suelos. La interpretación es hacer una base de perfiles cromatográficos, cociente entre valores de cromatogramas y valores de relación de absorbancia de picos predominantes. Luego establecer una clasificación de suelos como: Cromatográficamente equivalente y cualitativamente o cuantitativamente diferentes.

HIPOTESIS

“El suelo del municipio de San Salvador puede identificarse por medio de sus diversas características físicas, las cuales son propias de acuerdo a su región de origen”

Esta hipótesis pretendió comprobarse por medio de la determinación de las características físicas, por aplicación de los métodos forenses a las muestras obtenidas por medio del muestreo que se hizo del municipio de San Salvador, las cuales le han servido como identificación.

Las variables estudiadas en la presente investigación fueron las características físicas del suelo, las cuales correspondían al color, la densidad, el tamaño de partícula, la humedad y análisis microscópico, así como el pH.

DISEÑO METODOLÓGICO

INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La investigación se realizó haciendo una visita a las instalaciones del CENTA para obtener información teórica; luego se investigó en las bibliotecas de la Universidad de El Salvador, UES: En las Facultades de Química y Farmacia y Ciencias Agronomicas. Y finalmente se investigó bibliográfica en la D.P.T.C. de la P.N.C., para darle respuesta a los objetivos planteados.

INVESTIGACIÓN DE CAMPO

TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio que se realizó fue exploratorio y descriptivo; debido a que no existen estudios anteriores que se encarguen del desarrollo de un proyecto de análisis de suelos para fines forenses. Además de que su objetivo fue describir las características que podían identificar a un suelo, en el área metropolitana del municipio de San Salvador.

UNIVERSO Y MUESTRA

La población se constituyó por el suelo del municipio de San Salvador; el cual esta dividido en 7 zonas, cada una de las zonas divididas en sectores, totalizando 40 sectores; según el sistema de emergencias 911 de la P.N.C.

El universo lo constituyeron los 40 sectores del municipio de San Salvador, y la muestra fue de 27 sectores; los 13 sectores restantes no fueron de mucha utilidad

para este proyecto, debido a que contienen pavimento o cemento en la mayor parte de su región; lo que dejó inhabilitada la probabilidad de que, en caso que ocurra un delito en ese sector, se encuentre una Evidencia de la naturaleza que el estudio ha requerido para realizar los análisis que aquí se han planteado.

Las muestras se seleccionaron de los sectores, que según el mapa gráfico del municipio de San Salvador, cumplieron con la característica de poseer regiones con zonas verdes, parques o predios que contenían tierra dentro de su área, y que eran contempladas en dicho mapa.

De esta manera el muestreo o selección resultó dirigido. Y las muestras seleccionadas provinieron de estos 27 sectores, siendo las muestras probabilísticas y representativas.

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

El método para la obtención de la información, fue por medio de la observación de los sectores del municipio de San Salvador, y recolección de las muestras de suelos en dichas regiones. Una vez se estuvo presente en la región destino, se procedió a observar y recorrer el lugar para determinar la zona más adecuada para la recolección de la muestra; luego se tomó la fotografía del lugar para dejar constancia de las condiciones en las que se encontró la zona muestreada y sus características naturales. Una vez seleccionado el suelo a recolectar se tomó la muestra de la siguiente manera: Se hizo un cuadro de aproximadamente 5 cm por lado y un máximo de 5 cm de profundo (no más profundo que la presión que un zapato o una

llanta puedan hacer en el suelo), se obtuvo la maqueta de tierra y se colocó, lo más intacta posible, dentro del recipiente para muestras (tarros plásticos de 6 onzas de capacidad con tapadera de rosca). Se rotuló la muestra con el código que identificaba el lugar donde fue recolectada, la fecha y hora de la recolección junto con el nombre del recolector. Posteriormente se trasladaron las muestras al laboratorio para realizarles los análisis físicos de color, tamaño de partícula, densidad, humedad, análisis microscópico y pH, que se recopilaron en una hoja recolectora de datos; la cual se organizó por zona y por sector. Luego se almacenó la totalidad de los datos y se representaron, cada una de las características físicas analizadas, en porcentajes de incidencia calculados por medio de regla de tres simple.

Posteriormente se graficaron, de forma representativa, los datos de los porcentajes de incidencia contra las características de color, textura, densidad, humedad y pH de cada zona. La característica microscópica se presentó únicamente en los cuadros de porcentaje de incidencia.

Finalmente se procedió a la elaboración del muestrario. Se colocó la fotografía del lugar en la parte superior de la muestra física de la tierra de ese lugar, y luego describiendo las características físicas propias de ese sector. Esta información se archivó en un cartapacio, donde se facilita su consulta.

PARTE EXPERIMENTAL

COLOR

Para realizar este análisis se hizo una comparación de la muestra con las tablas de color de suelos denominadas “Munsell”, esto se realizó tanto en base seca como en base húmeda^(6,13).

En base seca se puso a secar la muestra en estufa a 105 °C por 20 minutos y luego se observó la muestra en una ventana orientada al norte y se determinó el color.

En base húmeda se colocó en una caja de petri una pequeña cantidad de muestra y se le agregó igual cantidad de agua, luego se observó el color en las mismas condiciones de luz, descritas anteriormente.

TAMAÑO DE PARTÍCULA

Para realizar este análisis se utilizó una columna de tamices en serie, dispuestos con el número de malla de forma decreciente, colocando arriba el de mayor diámetro y abajo el de menor diámetro^(3,6,11).

TABLA N° 3: Diámetros de malla de los diferentes tamices⁽⁶⁾:

Número de mesh	Diámetro de partícula (mm)
5	3.400
10	1.700
20	0.850
40	0.425

TABLA N° 3: Continuación...

60	0.250
150	0.100

Una cantidad de suelo seco al aire libre se pulverizó con la mano, se pesó y luego se vertió sobre la columna de tamices y se agitó. Después de tamizadas las muestras, se pesó cada fracción para calcular el peso por fracción con relación al peso total de la muestra. De esta manera se obtuvo el porcentaje que existe de cada fracción (o tamaño de partícula) dentro de la muestra.

DENSIDAD

Se pulverizó una porción de muestra de suelo seco y se pasó por tamices de diferentes diámetros de malla para separar la muestra en fracciones de diferentes tamaños, esto se hizo con los resultados obtenidos del análisis de tamaño de partícula y usando la misma cantidad para cada muestra^(6,11).

Las columnas utilizadas en el método fueron tubos de ensayo. Cada tubo se colocó en posición vertical en una gradilla. Luego se llenaron con líquidos de diferentes densidades. Se emplearon bromoformo (d 2.89 g/mL) y bromobenceno (d 1.5 g/mL), y mezclas de ellos, agregándolos en diferentes proporciones^(7,11).

TABLA N° 4: Preparación de las soluciones de bromoformo y bromobenceno para obtener diferentes densidades⁽⁵⁾:

Solución	Bromoformo		Bromobenceno		Densidad g/mL
	mL	%	mL	%	
1	5	100	0	0	2.89
2	4	80	1	20	2.61
3	3	60	2	40	2.33
4	2	40	3	60	2.05
5	1	20	4	80	1.77
6	0	0	5	100	1.50

Las columnas se llenaron con 2 mL de cada una de las seis soluciones preparadas, se adicionaron de manera que la densidad fuera decreciente y se taparon. Una vez que los tubos de densidad se estabilizaron por 24 horas, las muestras de suelo fueron agregadas; permitiéndoseles unas horas para que las partículas de suelo se establecieran en un nivel donde el líquido tuviera su misma densidad. Era importante que todas las muestras fueran tratadas de la misma manera^(3,11).

HUMEDAD⁽²⁾

El método gravimétrico consistió en llenar un beaker, previamente tarado, con muestra de tierra, se pesó y se colocó en una estufa a 105 °C por 24 horas. Se dejó enfriar en un desecador y luego se pesó.

ANÁLISIS MICROSCÓPICO

De las fracciones de la muestra obtenidas en el tamizado, se tomó una pequeña cantidad y se observaron directamente al microscopio estereoscópico.

Se observaron los diferentes tipos de partículas presentes en la muestra, se identificó su morfología (puntiagudos, angulares, redondeados) y coloración (claros, oscuros, transparentes, traslucidos, coloreados), además se indicó la frecuencia aproximada en la que dichos tipos de partículas se encontraban presentes.

DETERMINACIÓN DE pH⁽⁶⁾

A un gramo de suelo se le agregó 2.5 mL de agua destilada (muestra-agua en proporción de 1:2.5 peso/volumen), luego se centrifugó por un minuto y se midió el pH con papel indicador certificado por EM-Reagents.

RESULTADOS

Se observó en el mapa del municipio de San Salvador las áreas indicadas como zonas verdes y se marcaron para ser visitadas. Con el técnico de la P.N.C. se procedió a llegar al lugar indicado para corroborar su ubicación. Y si acaso el lugar no cumplía con los requisitos para ser muestreado, o había cambio en el lugar a muestrear, se buscó un lugar cercano donde se encontrara tierra y se ubicaba en el mapa, ver anexo N° 5; una vez determinada la ubicación, se observó el mejor ángulo para tomar las fotografías que dejan plasmadas las características originales de cada lugar.

El municipio de San Salvador esta formado por 7 zonas, que a su vez se dividen en sectores de la siguiente manera, (los sectores resaltados fueron los muestreados):

- Zona 3: Sectores: **14, 15, 16, 17 y 18.**
- Zona 4: Sectores: **19, 20, 21, 22, 23 y 24.**
- Zona 5: Sectores: **25, 26, 27, 28 y 29.**
- Zona 6: Sectores: **30, 31, 32, 33, 34 y 35.**
- Zona 10: Sectores: **54, 55, 56, 57, 58 y 59.**
- Zona 11: Sectores: **60, 61, 62, 63 y 64.**
- Zona 12: Sectores: **65, 66, 67, 68, 69, 70 y 71.**

Los lugares visitados fueron un total de 64; perteneciendo a cada sector como mínimo uno y como máximo cinco, de esos lugares. Se muestrearon las 7 zonas que pertenecen al municipio de San Salvador, muestreando desde dos hasta seis de los

sectores que pertenecían a cada zona. Así se obtuvieron un total de 143 muestras del municipio.

Para identificar cada lugar se estableció un código que incluye: El número de la zona, precedido por una letra Z; seguido del número del sector, precedido por una letra S, y finalmente un literal que indica la dirección o ubicación real en el mapa, seguido por un dígito que indica el número de muestras tomadas en dicho lugar. Por ejemplo: Z3S14B, este lugar está ubicado en la Zona 3, el sector 14 y el lugar B, que corresponde al predio que se encuentra en calle la revolución frente al Teatro Presidente. Este código se colocó en el lugar, en forma de banderín, a la hora de tomar la fotografía, para poder ser identificada posteriormente. (Ver anexo N° 6 foto del Z3S14B).

Estos lugares están colocados dentro del mapa, en su respectiva ubicación, y las direcciones se detallan a continuación mediante un listado, donde se hace referencia a cada uno de los lugares visitados con su respectivo código de identificación:

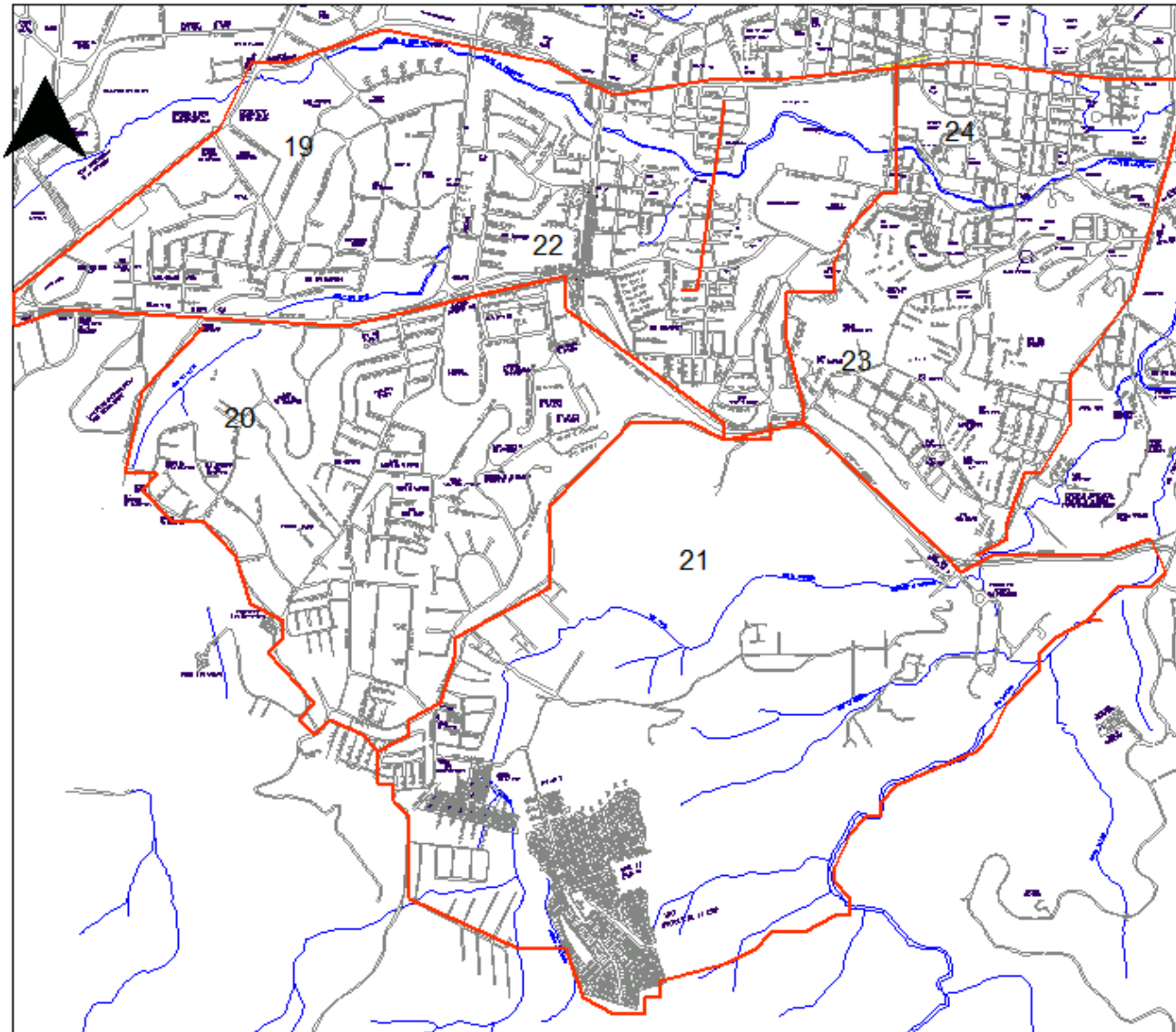


Sectorización Sistema de Emergencia 911

**ZONA 3
(Escalón)**

1. Z3S14A: Av. La revolución. Quebrada detrás del museo David J. Guzmán.
2. Z3S14B: Av. La revolución. Predio frente al teatro Presidente.
3. Z3S14C: Final C. Lirio y av. Los almendros.
4. Z3S16A: Final C. José Cecilio del Valle. Arriba del redondel Masferrer.
5. Z3S16B: Final C. El carmen.
6. Z3S16C: C. Del mirador, quebrada frente al Pje. #11.
7. Z3S16D: 3ª C. Pte. Frente a redondel. Una cuadra arriba de Iglesia San Pablo.
8. Z3S17A: C. a canton El Carmen y 93 av. Nte.
9. Z3S17B: 15ª C. Pte. y final 81 av. Nte.
10. Z3S17C: Final 15ª C. Pte. y final 89 av. Nte.
11. Z3S18A: Final av. Alberto Masferrer Nte. dos cuadras arriba, detrás de av. Las cumbres.
12. Z3S18B: Final av. Alberto Masferrer Nte.
13. Z3S18C: C. a canton El carmen, una cuadra debajo de C. Los cedros.

FIGURA N° 1: Sectorización sistema 911: Zona 3

ZONA 4 (La Cima)

14. Z4S19A: "Parque Nacional de Beisball" av. Manuel Enrique Araujo y C. Las Mercedes.

15. Z4S20A: C. # 3, frente a quebrada San Felipe.

16. Z4S20B: Lomas de San Fco. C. # 3 y C. # 1.

17. Z4S20C: Ant. C. a Huizucar, una cuadra arriba de C. # 5.

18. Z4S21A: C. a Huizucar, una cuadra arriba de la Despensa de Don Juan la cima.

19. Z4S21B: Urb. La cima III, av. B frente a Pje. 27 D.

20. Z4S21C: Blvd. San Patricio, entre Urb. La cima III y La cima IV.

21. Z4S21D: Detrás de finca Belén, C. a Huizucar.

22. Z4S21E: Finca Navarra, carretera a Comalapa.

23. Z4S22A: Final Pje. Tizón y Arenal de Monserrat.

24. Z4S22B: Col. Monserrat, av. Iberia.

25. Z4S22C: 25 av. Sur y C. Alfredo Espino.

26. Z4S23A: Urb. El recreo y av. El rector, Monserrat.

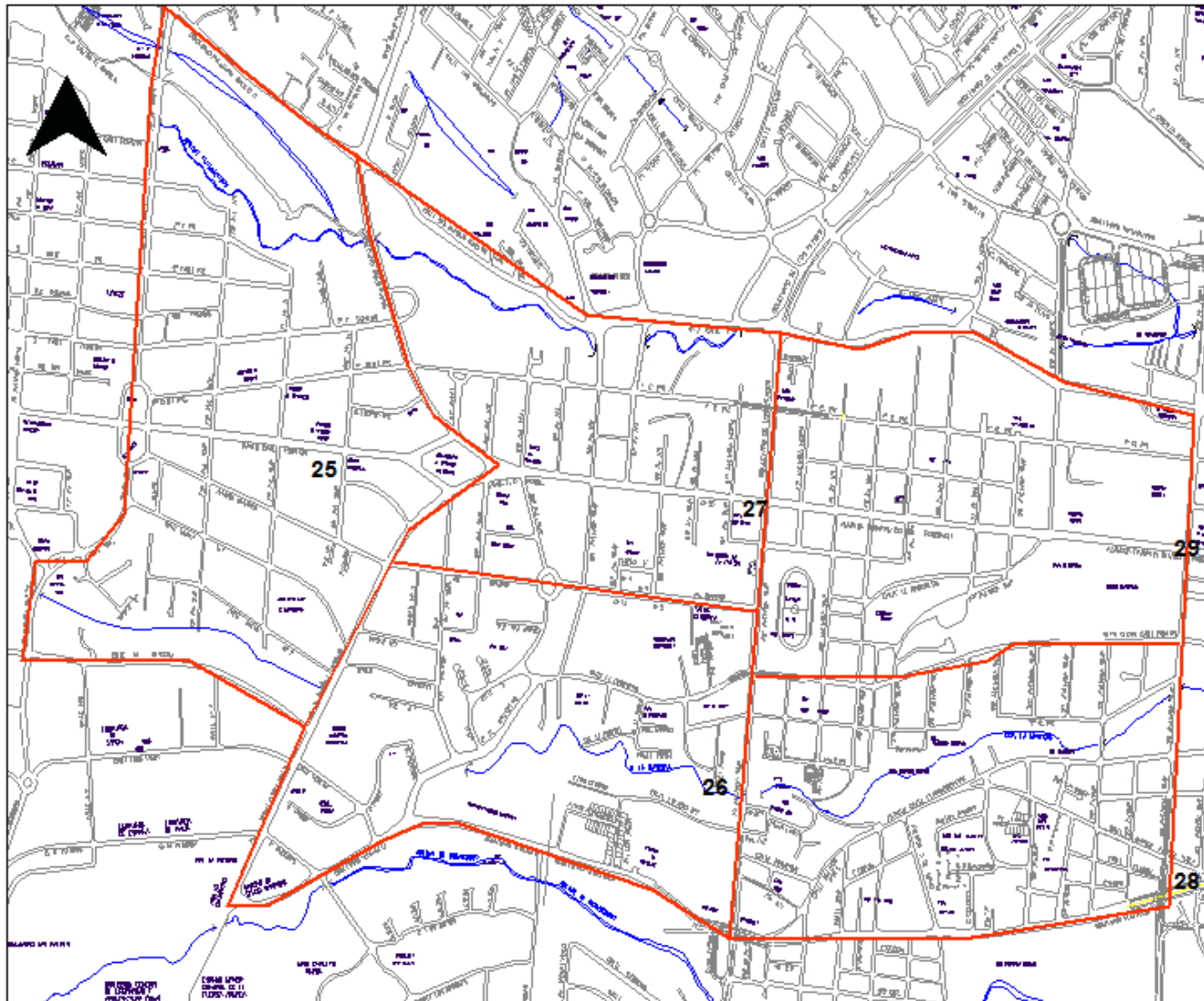
27. Z4S23B: Col. Las lomas y C. a Huizucar.

28. Z4S23B: Final C. Juan Mora.

29. Z4S24A: Urb. Papini, una cuadra arriba de 18ª C. Pte.

30. Z4S24B: Col. Santa Anita, final 20ª C. Pte.

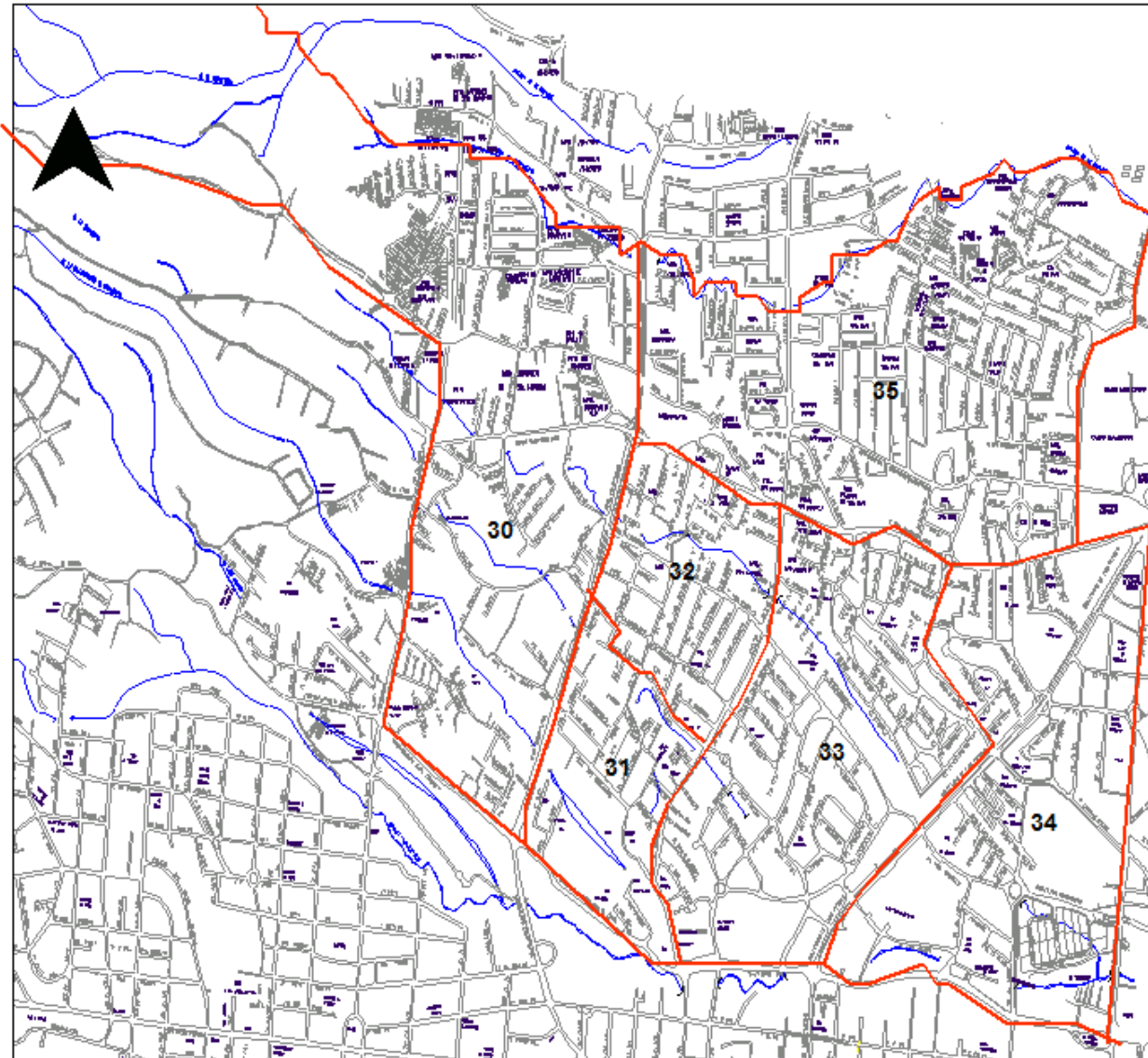
FIGURA N° 2: Sectorización sistema 911: Zona 4



ZONA 5 (Flor Blanca)

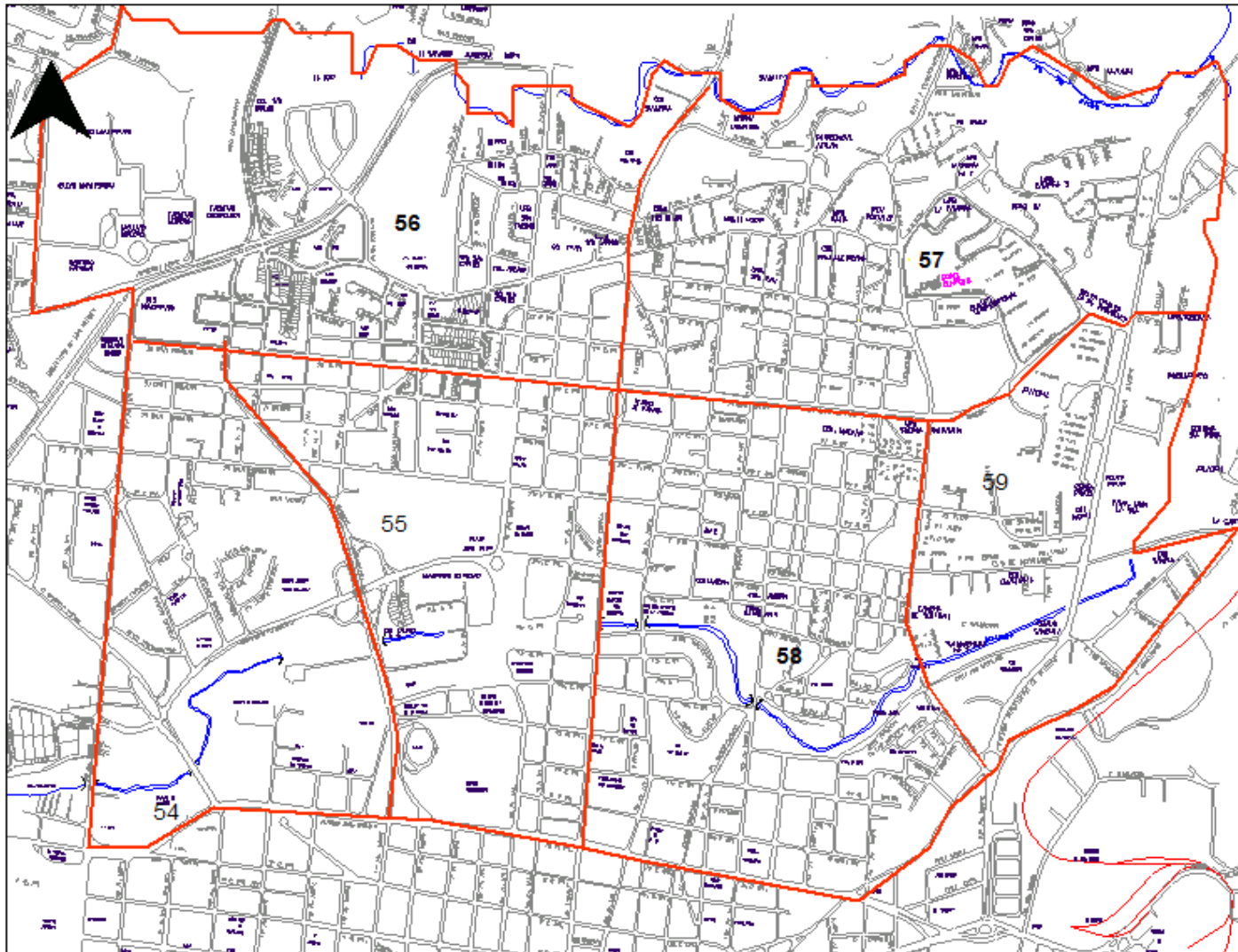
- 31. Z5S25A: Quebrada la Mascota, una cuadra arriba de 73 av. Sur, C. # 2.
- 32. Z5S25B: Arenal Tutunichapa, Final 73 av. Nte. y Final 9ª C. Pte.
- 33. Z5S29A: "Parque Cuscatlán" Res. El bosque entre sexta décima C. Pte. y alameda Delmo Roosevelt.

FIGURA Nº 3: Sectorización sistema 911: Zona 5

ZONA 6 (Miramonte, San Antonio Abad)

- 34. Z6S30A: Final C. El roble, El roble.
- 35. Z6S30B: Quebrada el Chilismuyo detrás de condominio Res. Estocolmo.
- 36. Z6S30C: Final C. # 1, dos cuadras y media arriba de SEPES. Res. San Antonio.
- 37. Z6S30D: C. La granjita y Pje. Primavera.
- 38. Z6S30E: Pje. Monte fresco, San Antonio Abad, quebrada.
- 39. Z6S31A: "Parque" C. Las oscuranas.
- 40. Z6S31B: Av. Rocio y providencia.
- 41. Z6S32A: C. Las arboledas entre av. A y av. B.
- 42. Z6S32B: Av. Sisimiles y final C. B, quebrada.
- 43. Z6S33A: Urb. Miramonte, C. Talamanca y C. Colima, parque.
- 44. Z6S33B: Zona verde entre av. Borinquen y av. Canales, Col. Buenos Aires 2.
- 45. Z6S33C: "Parque Centroamérica" Res. Bella vista entre C. Centroamérica y C. Guatemala.
- 46. Z6S34A: "Parque" entre C. Aurora y av. Santa mónica.
- 47. Z6S35A: Final Pje Leo y C. Júpiter.
- 48. Z6S35B: Pje. Santander y Pje. San Martín.
- 49. Z6S35C: "Parque" Col. El roble y av. B.
- 50. Z6S35D: "Parque san José" Col. San José, 39 av. Nte.

FIGURA Nº 4: Sectorización sistema 911: Zona 6



- 51. Z10S54A: C. Gabriela Mistral y Blvd. Tutunichapa.
- 52. Z10S54B: Diagonal Universitaria una cuadra antes del trébol de los juzgados.
- 53. Z10S54C: Diagonal Universitaria y Alameda Juan Pablo II.
- 54. Z10S55A: "Parque infantil o Campo Marte" 5ª av. Nte. y Alameda Juan Pablo II
- 55. Z10S48A: Final 12 av. Nte.

FIGURA N° 5: Sectorización sistema 911: Zona 10

ZONA 11 (Centro Histórico)

56. Z11S60A:
25 av. Nte. y 1ª C.
Pte.

57. Z11S61B:
"Parque Bolívar"
entre C. Rubén
Dario y 4ª C. Pte.

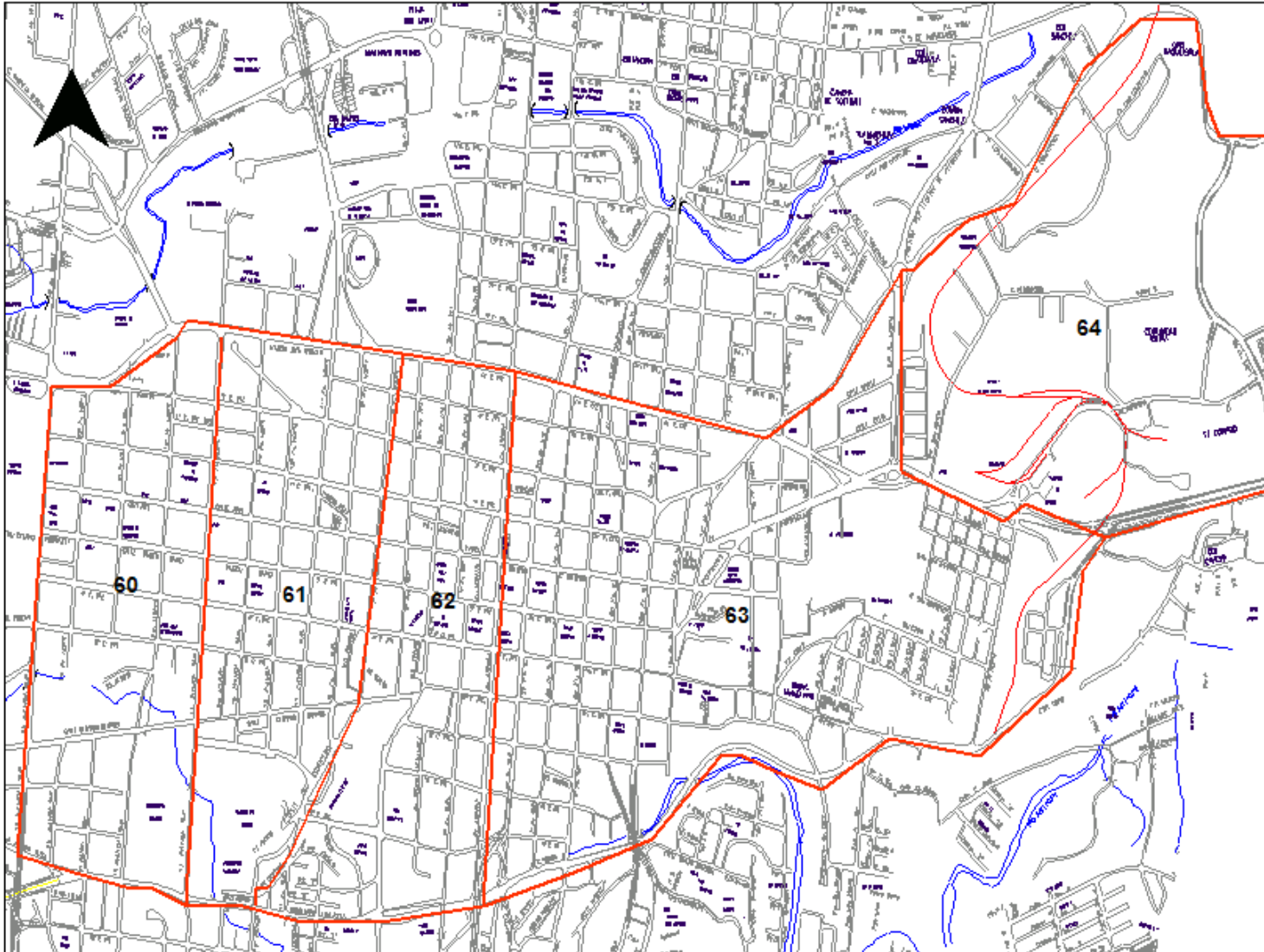
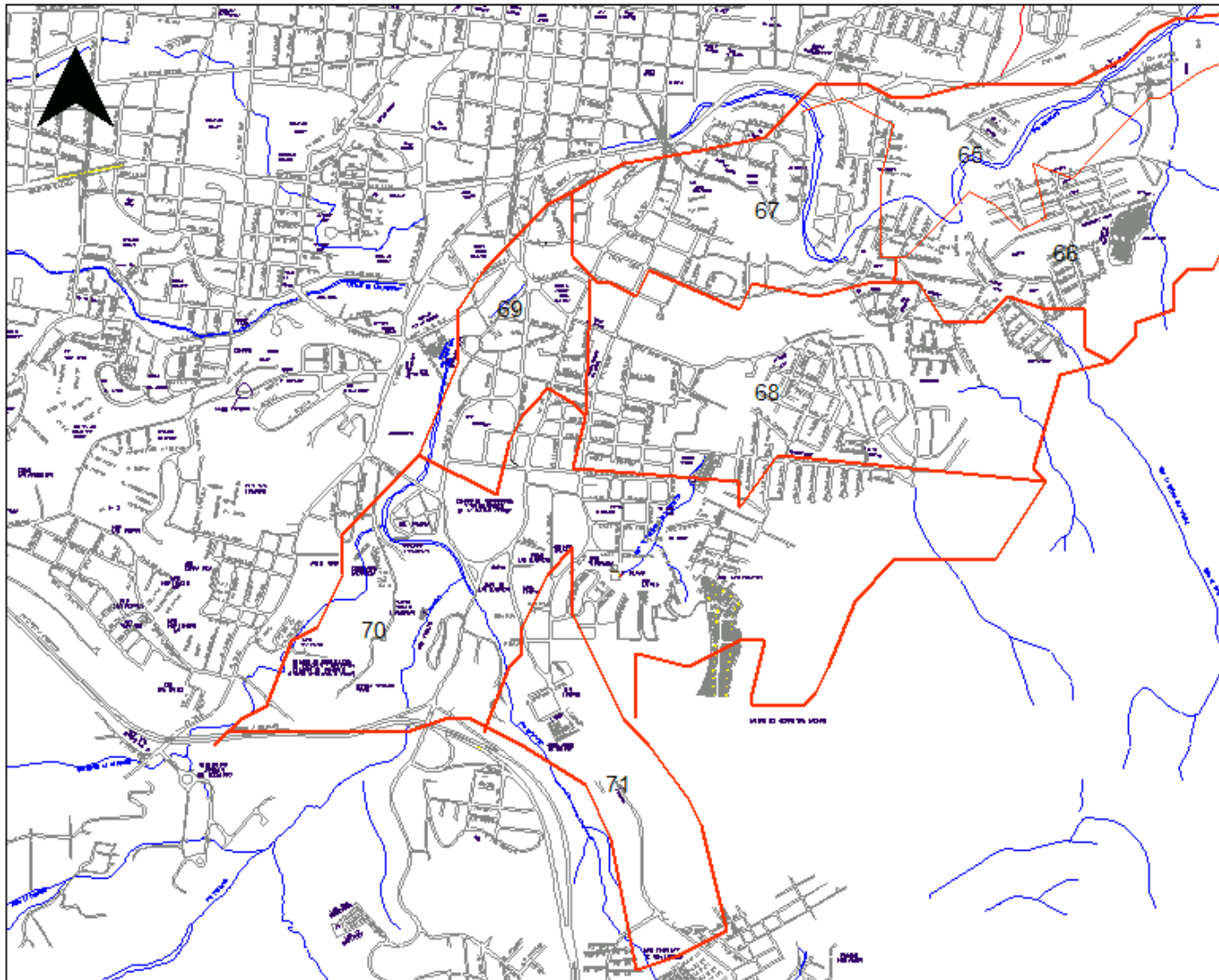


FIGURA Nº 6: Sectorización sistema 911: Zona 11

ZONA 12 (San Jacinto)



58. Z12S65B: Col. Acelhuate, orilla del río Acelhuate.

59. Z12S66A: "Parque" C. Almendras Col. Castilleja II.

60. Z12S68A: C. Lara una cuadra abajo de av. Cuba.

61. Z12S68B: Col. Las conchas.

62. Z12S70A: Quebrada frente a Parque Saburo Hirao.

63. Z12S70B: Blvd. Carranza frente a Casa Presidencial.

64. Z12S70C: "Parque" Urb. Terranova.

FIGURA N° 7: Sectorización sistema 911: Zona 12

Luego que se contó con la ubicación de cada lugar y la fotografía de sus características, se colocó dicha foto en el mapa por medio del programa autocad (Diseño Artístico por ordenador) versión 2000. Una vez activado el programa, las aplicaciones de mayor utilidad para su consulta se realiza mediante los siguientes botones: Botón pan (representado por una mano), utilizado para mover todo el mapa en cualquier dirección. Botón zoom (representado por una lupa con signo + y -), utilizado para acercar o alejar el mapa lentamente. Botón zoom window (representado por una ventana), utilizado para hacer un acercamiento rápido y directo de un área especificada. Todos estos comandos pueden ser usados para desplazarse a lo largo del mapa para buscar una ubicación o una fotografía. Este programa contiene el mapa del municipio de San Salvador, que ha sido delimitado para su fácil identificación; dentro del cual se encuentran las fotografías de cada lugar muestreado colocadas según su ubicación real, el código antes mencionado que lo identifica, y un cuadro que resume las características principales de ese lugar.

Después de ubicar y fotografiar el lugar se procedió a tomar las muestras. Observando el lugar se tomó un punto al azar (según el muestreo aleatorio al azar), haciendo un cuadro de 5 x 5 x 5 cm de largo, ancho y profundidad; posteriormente se procedió a colocar la muestra dentro de el tarro de muestras, con la ayuda de la pala de jardinería, este recipiente fue debidamente identificado con el código antes descrito y acompañado por un número indicando el número de muestra. Por ejemplo: Z3S14A1; según el número de muestras que se hayan tomado de dicho lugar. El número de muestras varió según la heterogeneidad del terreno, se tomaron muestras de las diferentes tierras que presentaban colores distintos al observarse el terreno.

Tomando un mínimo de 2 muestras incluso en terreno homogéneo y un máximo de 5 muestras en terreno heterogéneo. Es así como se cumplió con el muestreo dirigido.

Una vez tomada la muestra, embalada e identificada adecuadamente se transportó al laboratorio para realizarle los análisis respectivos de identificación.

MUESTREO

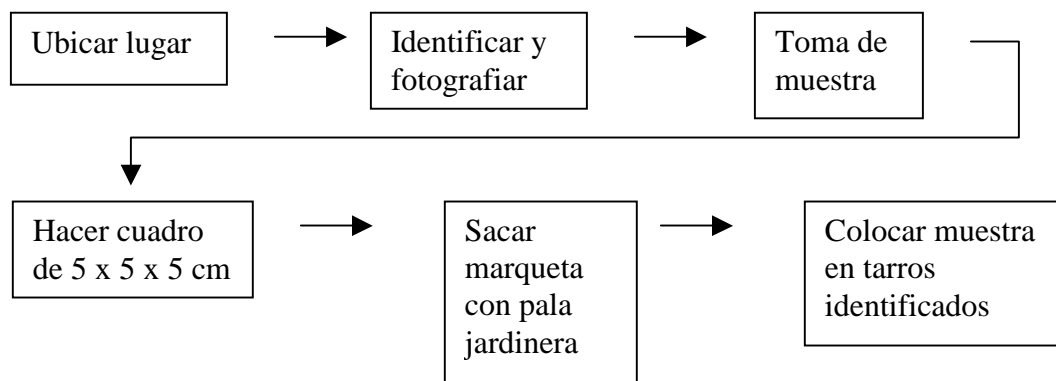


FIGURA N° 8: Esquema de la realización del muestreo.



FIGURA N° 9: Fotografía de la toma de muestra.

Los análisis de laboratorio que se le realizaron a las muestras son los de identificación de sus características físicas; dentro de los cuales se encuentran: El color, el tamaño de partícula, la densidad, la humedad, el análisis microscópico y el pH; además de tomar en cuenta el peso de la muestra y observaciones respectivas.

Dichos análisis se detallan a continuación:

COLOR

- Base seca

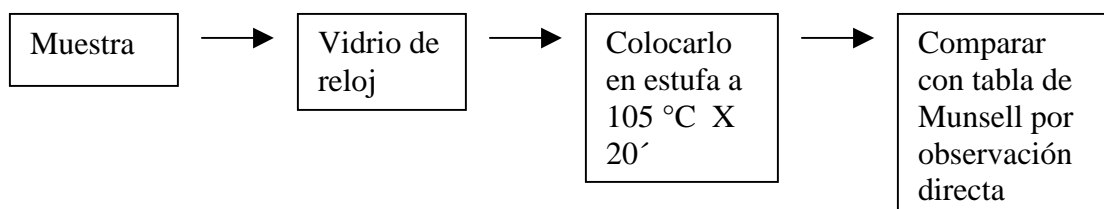


FIGURA N° 10-A: Esquema del procedimiento del análisis de color en base seca.

- Base húmeda

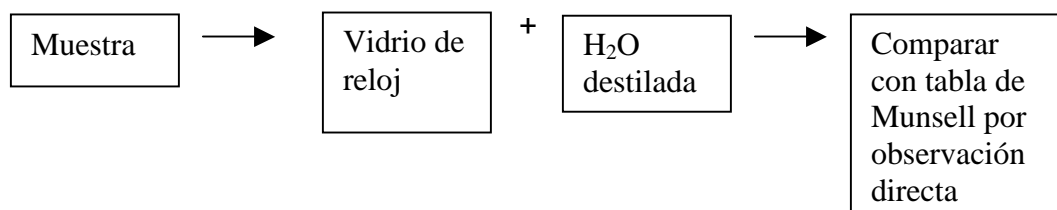


FIGURA N° 10-B: Esquema del procedimiento del análisis de color en base húmeda

TAMAÑO DE PARTÍCULA

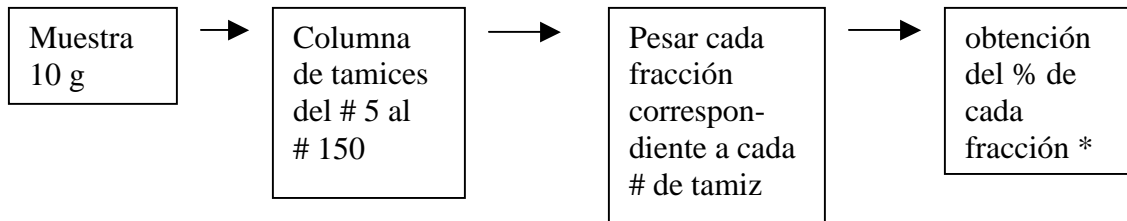


FIGURA N° 11: Esquema del procedimiento del tamizado.

$$* \% \text{ de fracción} = \frac{\text{peso de fracción retenida (g)}}{\text{peso total de muestra (g)}} \times 100$$

DENSIDAD

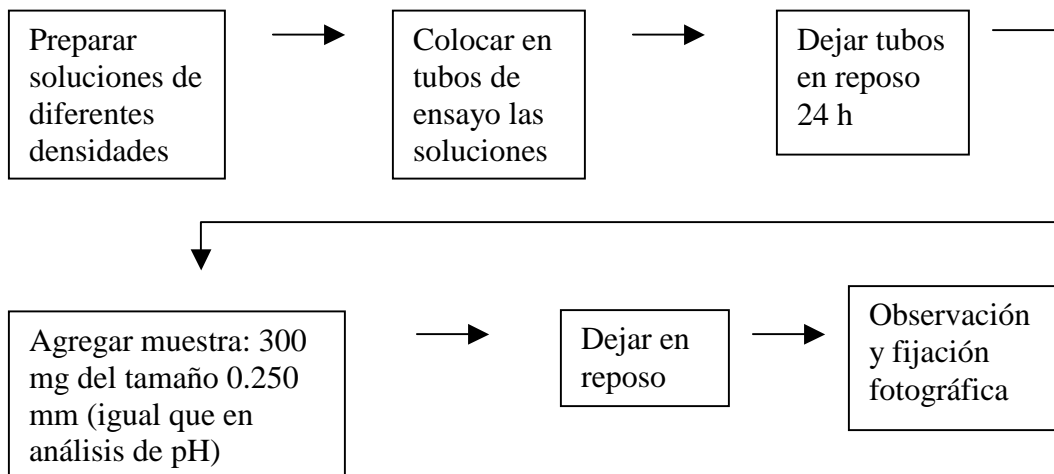


FIGURA N° 12: Esquema del procedimiento del análisis de densidad.

HUMEDAD

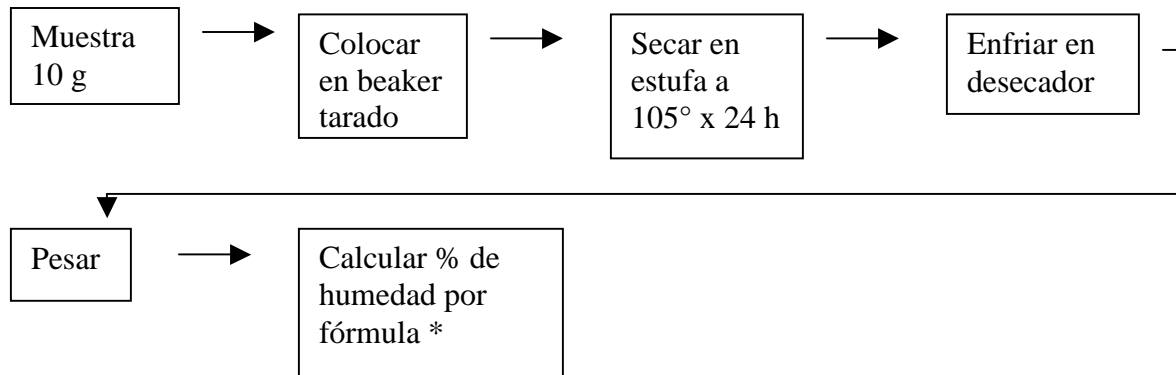


FIGURA N° 13: Esquema del procedimiento del análisis de humedad.

$$* \% \text{ humedad} = \frac{\text{psh} - \text{pss} \text{ (g)}}{\text{pss} \text{ (g)}} \times 100$$

de donde:

psh = peso del suelo húmedo

pss = peso del suelo seco

ANÁLISIS MICROSCÓPICO

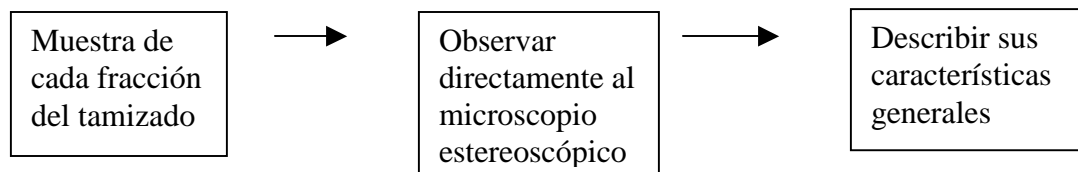


FIGURA N° 14: Esquema del procedimiento del análisis microscópico.

DETERMINACIÓN DE pH

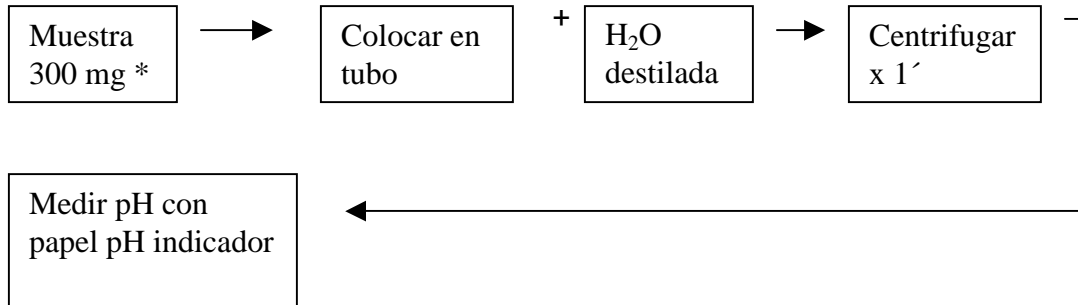


FIGURA N°15: Esquema del procedimiento de la determinación del pH.

- Nota: Para obtener una solución de la muestra analizada se redujo la cantidad de muestra de 1 g a 300 mg, debido a que se observó que 1 g de tierra absorbía la cantidad de agua adicionada. Se usó papel indicador debido a que el volumen de muestra era muy poca para utilizar un pHmetro.

Ver en anexos N° 7 al 12 las fotografías de los equipos usados en los análisis realizados.

Para identificar las características de cada muestra, y las comunes a cada sector y/o zona, es necesario analizar los resultados obtenidos de cada una de las pruebas realizadas, y que han sido descritas anteriormente.

A continuación se detallan los resultados obtenidos de cada muestra, debidamente identificadas, agrupadas por zonas y sectores.

TABULACIÓN DE RESULTADOS POR ZONAS

ZONA 3

SECTOR 14

TABLA N° 5: Recolección de datos de las características físicas de la muestra
Z3S14A1.

Características		Muestras	
Código		Z3S14A1	
Peso (g)		115.52	
pH		6	
Humedad (%)		3.06	
Densidad (g/mL)		2.33	
Color		Seco 2.5 Y 8/2	Húmedo 2.5 Y 6/4
Tamizado			
Malla N°	Tamaño de partícula (mm)	Peso(g)	Porcentaje (%)
5	3.400	0.177	01.77
10	1.700	0.494	04.94
20	0.850	1.434	14.34
40	0.425	1.868	18.68
60	0.250	3.507	35.07
150	0.100	1.346	13.46

TABLA N° 5: Continuación ...

<150	< 0.100	0.265	02.65		
Microscópico					
Tamaño de partícula (mm)		Tipo	Color	Forma	Frec
	3.400	R	B,C	ES, IR	poco B mod abun C
	1.700	R C	C B	ES,IR ES	poco B mod abun C
	0.850	R C	C G	ES PL	poco mod G abun C
	0.425	R C	C N,B+,T	ES,IR ES,IR	poco B+ mod N,T abun C
	0.250	R C	C T	EP PL	poco mod T abun C
	0.100	R C	C T,G,B	ES PL	poco G,B mod T abun C

TABLA N° 5: Continuación ...

< 0.100	R	C	ES	poco G
	C	G,N,T	PL,AP	mod T,N abun C
Observaciones	Tipo		Plast	Pedreg-tam
	Suelta	Si	poco-peq	

Nota: Cuadro recolector de datos que ejemplifica las diferentes características evaluadas de esta zona.

Ejemplo de regla de tres utilizada para la obtención de los porcentajes:

Color amarillo naranja mate:

S 14 = 7 muestras

S 14 = número de muestras color naranja / total muestras del sector * 100

S 14 = $4 / 7 * 100 = 57.14 \%$

Z 3 = 4 sectores

Z 3 = $(\sum S 14 + S 16 + S 17 + S 18) / \text{número total de sectores}$

Z 3 = $203.18 / 4 = 50.80 \%$

TABLA N° 6: Valores porcentuales del color de la tierra de los sectores de la zona 3.

	Color	S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3
Seco	Amarillo naranja mate	57.14	44.45	57.14	44.45	50.80
	Café amarillo	14.29	33.33	28.58	33.33	27.37
	Café	14.29	11.11	14.28	11.11	12.70
	Gris claro	14.28	11.11	—	11.11	9.13
	Total	100	100	100	100	100
Húmedo	Negro	57.14	22.22	28.57	11.11	29.76
	Café	28.58	66.67	57.14	77.78	57.54
	Amarillo naranja mate	—	11.11	—	—	2.78
	Café amarillento	14.28	—	14.29	11.11	9.92
	Total	100	100	100	100	100

TABLA N° 7: Valores porcentuales del tamaño de partícula de los sectores de la zona 3.

área \ textura	S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3
Grava	—	—	—	11.11	2.78
MG	11.11	—	14.29	55.56	20.24
M	11.11	11.11	—	11.11	8.33
F	33.33	—	—	—	8.33
MF	33.34	77.78	85.71	22.22	54.76
L+A	11.11	11.11	—	—	5.56
Total	100	100	100	100	100

TABLA N° 8: Valores porcentuales de la densidad de los sectores de la zona 3.

área \ δ (g/ml)	S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3
2.33	71.43	66.67	57.14	11.11	51.59
2.33 a 2.05	28.57	—	28.57	—	14.28
2.61 a 2.33	—	33.33	—	77.78	27.78
2.89 a 2.05	—	—	14.29	11.11	6.35
Total	100	100	100	100	100

TABLA N° 9: Porcentaje de humedad de los sectores de la zona 3.

área \ % H	S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3
1.0 a 3.0	—	44.44	71.42	55.56	42.85
3.0 a 6.0	83.33	55.56	28.57	33.33	50.20
6.0 a 9.0	16.67	—	—	11.11	6.95
Total	100	100	100	100	100

TABLA N° 10: Valores porcentuales de pH de los sectores de la zona 3.

área \ pH	S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3
5	—	—	—	22.22	5.55
6	100	66.67	85.75	77.78	82.55
7	—	33.33	14.25	—	11.90
Total	100	100	100	100	100

TABLA N° 11: Resultados de la observación microscópica del tamaño de partícula de 3.400 mm de diámetro de los sectores de la zona 3.

Características		Área	S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3
		Tipo granulométrico	Color	C	100	87.5	85.71
	Be		—	12.5	—	—	3.13
	B		—	—	14.29	10	6.07
	N		—	—	—	10	2.5
	R		100	100	100	100	100
	Sub-total						
	Total		100	100	100	100	100
Forma	IR		60	87.5	57.14	55.56	65.05
	PL		40	12.5	42.86	44.44	34.95
	Total		100	100	100	100	100

TABLA N° 12: Resultados de la observación microscópica del tamaño de partícula de 1.700 mm de diámetro de los sectores de la zona 3.

Características		área		S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3
Tipo granulométrico	Color	C	87.5	65.46	75	88.89	79.21	
	R		87.5	90	87.5	100	79.21*	
	Sub-total							
	Color	B	12.5	10	—	—	5.62	
		G	—	—	12.5	—	3.13	
	C		12.5	10	12.5	—	8.75	
Sub-total								
Total			100	75.46*	87.5*	88.89*	87.96*	
Forma	IR		50	70	62.5	66.67	62.29	
	ES		37.5	—	—	—	9.38	
	PL		12.5	30	37.5	33.33	28.33	
Total			100	100	100	100	100	

* % restante corresponde a: Tipo R color: N,B,G 12.04

que falta para completar 100 %

TABLA N° 13: Resultados de la observación microscópica del tamaño de partícula de 0.850 mm de diámetro de los sectores de la zona 3.

Características		área	S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3
Tipo granulométrico	Color	C	70	35.29	38.47	28.88	43.16
		G	—	11.76	7.69	7.22	6.67
		B	—	—	7.69	9.62	4.33
		N	—	—	—	7.22	1.81
	R		70	52.94	53.85	52.94	55.97*
	Sub-total						
	Color	N	15	17.65	6.59	—	9.81
		G	7.5	—	—	4.71	3.05
		T	7.5	23.53	19.78	4.71	13.88
		B	—	—	19.78	32.94	13.18
	C		30	47.06	46.15	47.06	39.92*
	Sub-total						
	Total		100	88.23*	100	95.30*	95.89*
	Forma	IR	70	23.53	38.46	52.94	46.23
PL		15	76.47	61.54	47.06	50.02	
Total		85*	100	100	100	96.25*	

* % restante corresponde a : Tipo R color: M 1.46

que falta para completar el 100 % Tipo C color: C, R 2.65

Forma: ES 3.75

TABLA N° 14: Resultados de la observación microscópica del tamaño de partícula de 0.425 mm de diámetro de los sectores de la zona 3.

Características		área	S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3
Tipo granulométrico	Color	C	46.15	37.06	42.86	36.36	40.60
		G	—	10.59	—	9.10	4.93
		B		5.29	7.14	4.54	4.24
	R		46.15	52.94	50	50	49.77
	Sub-total						
	Color	T	35.90	27.45	31.25	33.33	31.98
		B	—	3.92	12.5	16.67	8.27
		N	11.97	15.69	6.25	—	8.48
		C	5.98	—	—	—	1.50
	C		53.85	47.06	50	50	50.23
	Sub-total						
Total		100	100	100	100	100	
Forma	IR	61.54	76.47	35.71	44.44	54.54	
	PL	30.77	23.53	57.14	55.56	41.76	
Total		92.31*	100	92.85*	100	96.29*	

* % restante corresponde a: Forma: AG, ES 3.71

que falta para completar el 100 %

TABLA N° 15: Resultados de la observación microscópica del tamaño de partícula de 0.250 mm de diámetro de los sectores de la zona 3.

Características		área		S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3	
Tipo granulométrico	Color	C		50	38.89	16.67	38.89	36.11	
		B		—	—	16.67	5.56	5.56	
		N		—	—	11.11	—	2.78	
		G		—	11.11	5.55	—	4.17	
	R			50	50	50	50	48.62*	
	Sub-total								
	Color	T		50	30.77	31.25	37.5	37.38	
		N		—	19.23	6.25	—	6.37	
		B		—	—	6.25	12.5	4.69	
		G		—	—	6.25	—	1.56	
	C			50	50	50	50	50	
	Sub-total								
	Total			100	100	100	94.45*	98.62	
	Forma	IR		42.86	44.44	57.14	61.11	50.65	
AN			—	—	—	11.11	2.78		
PL			35.71	50	42.86	27.78	39.09		
Total			78.57*	94.44*	100	100	92.52*		

* % restante corresponde a: Tipo R color: Be 1.38

que falta para completar el 100 % Forma: EP, ES, AG, RE 7.48

TABLA N° 16: Resultados de la observación microscópica del tamaño de partícula de 0.100 mm de diámetro de los sectores de la zona 3.

Características		área	S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3
		Tipo granulométrico	Color	C	50	38.89	11.11
G	—			11.11	11.11	6.25	7.12
R			50	50	22.22	18.75	35.24
Sub-total							
Color	T		43.75	33.33	35.35	40	38.11
	N		6.25	16.67	—	—	5.73
	G		—	—	21.21	5	6.55
	C		—	—	14.14	5	4.79
	B		—	—	7.08	—	1.77
C			50	50	77.78	50	56.95
Sub-total							
Color	C		—	—	—	15.62	3.91
	G		—	—	—	5.21	1.30
	T		—	—	—	5.21	1.30
	B		—	—	—	5.21	1.30

TABLA N° 16: Continuación...

	P	—	—	—	31.25	7.81
	Sub-total					
	Total	100	100	100	100	100
Forma	IR	42.86	27.78	22.22	36.25	32.28
	PL	35.71	66.66	77.78	37.5	54.41
	ES	21.43	5.56	—	—	6.75
	AN	—	—	—	26.25	6.56
	Total	100	100	100	100	100

TABLA N° 17: Resultados de la observación microscópica del tamaño de partícula menor de 0.100 mm de diámetro de los sectores de la zona 3.

Características		área	S 14	S 16	S 17	S 18	Z 3
Tipo granulo-métrico	Color	C	50	43.75	—	—	23.44
		R	50	43.75	—	—	23.44
		Sub-total					
	Color	T	38.89	37.5	35.71	37.12	37.30
		G	—	9.37	42.86	10.61	15.71
		C	—	—	21.43	10.61	8.01
		N	11.11	9.37	—	—	5.12
	B	—	—	—	5.30	1.33	

TABLA N° 17: Continuación...

	C	50	56.25	100	63.64	67.47
	Sub-total					
	Color	G	—	—	15.58	3.89
		T	—	—	10.39	2.60
		C	—	—	10.39	2.60
	P	—	—	—	36.36	9.09
	Sub-total					
	Total	100	100	100	100	100
Forma	IR	42.86	31.25	14.29	54.55	35.74
	PL	42.86	62.5	71.43	45.45	55.56
	ES	14.28	—	—	—	3.57
	FI	—	—	14.28	—	3.57
	Total	100	93.75*	100	100	98.44*

* % restante corresponde a: Forma: EP 1.56

que falta para completar el 100 %

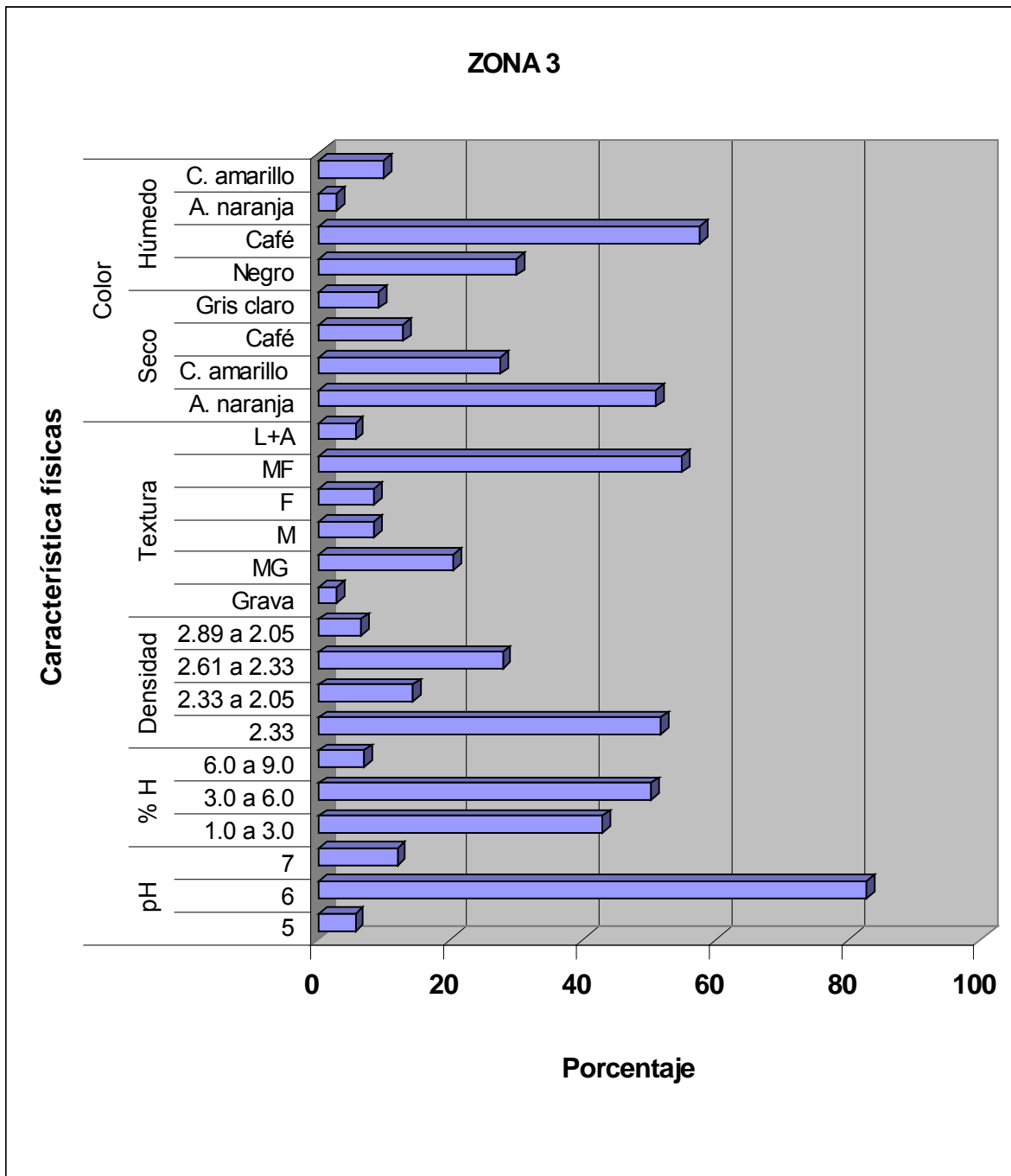


FIGURA N° 16: Gráfico de los resultados de la determinación de características físicas de la Zona 3.

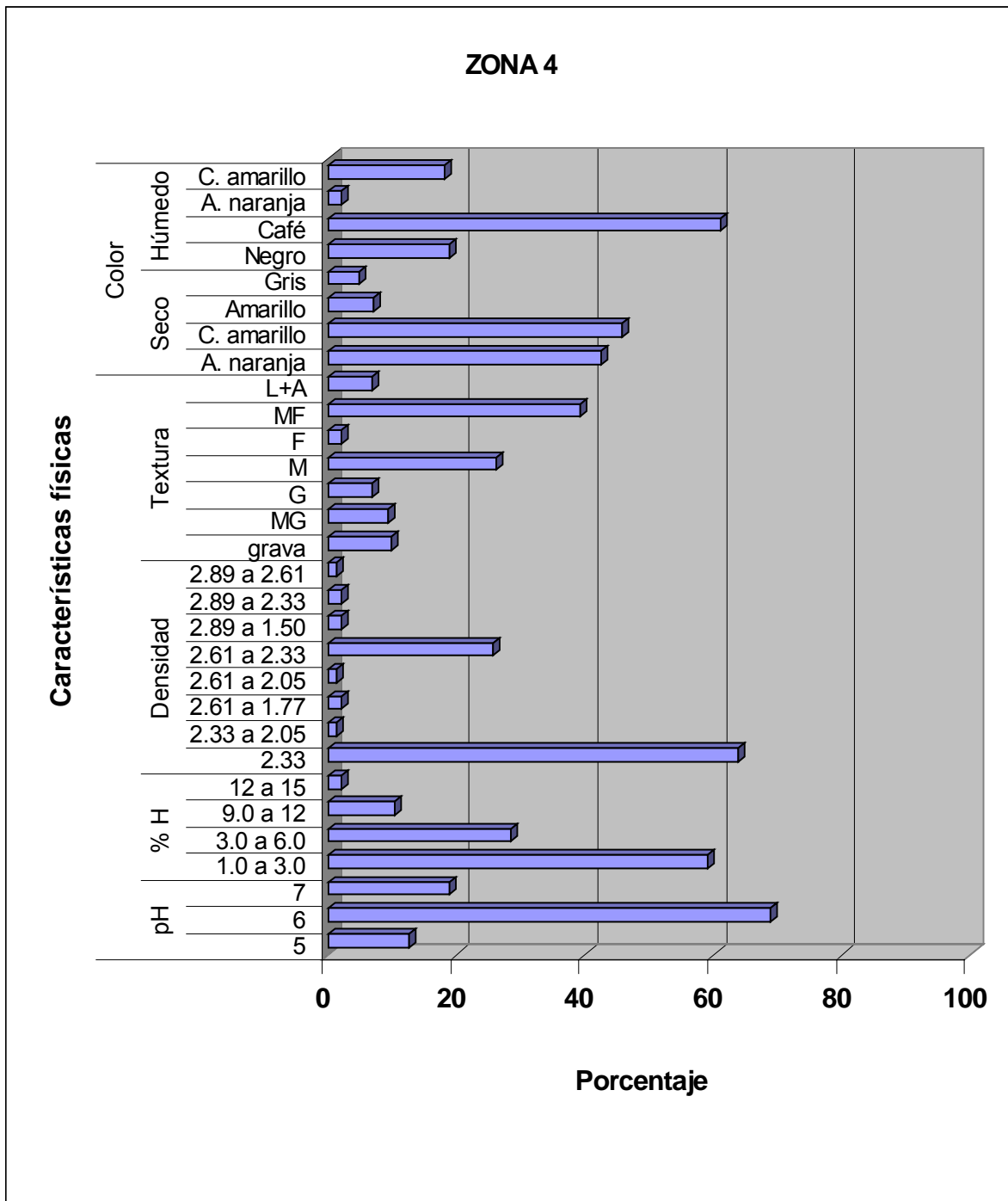


FIGURA N° 17: Gráfico de los resultados de la determinación de características físicas de la Zona 4.

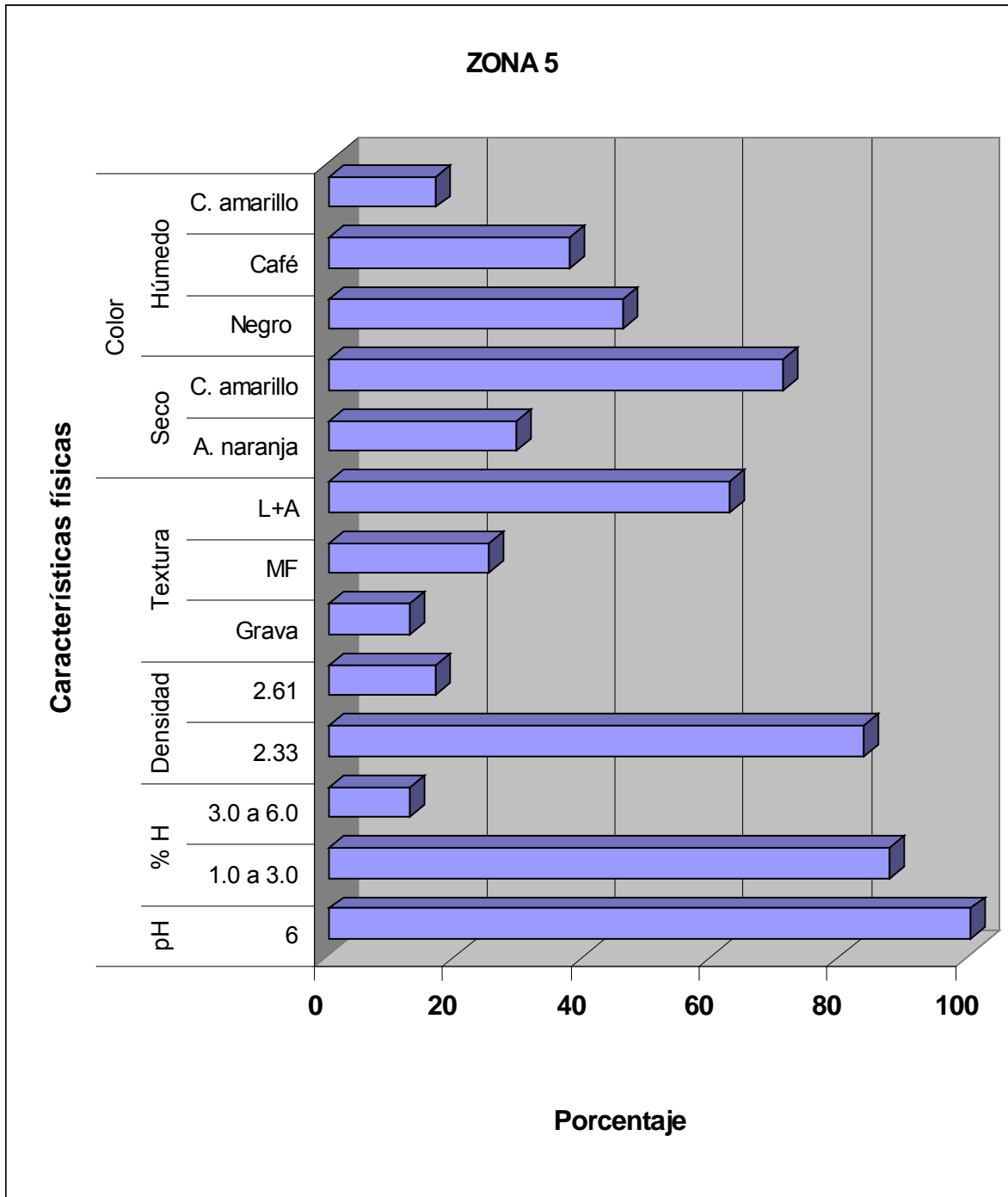


FIGURA N° 18: Gráfico de los resultados de la determinación de características físicas de la Zona 5.

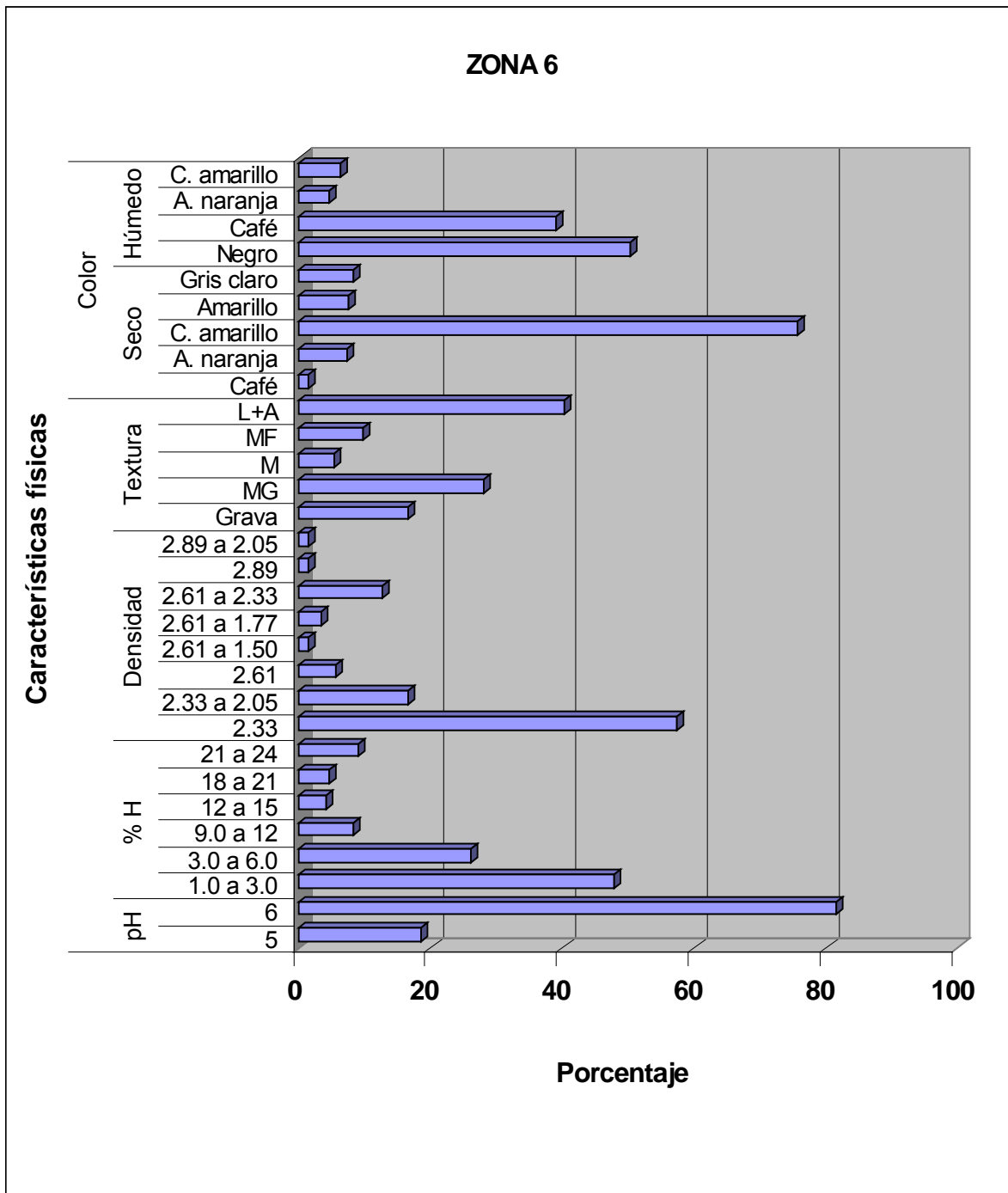


FIGURA N° 19: Gráfico de los resultados de la determinación de características físicas de la Zona 6.

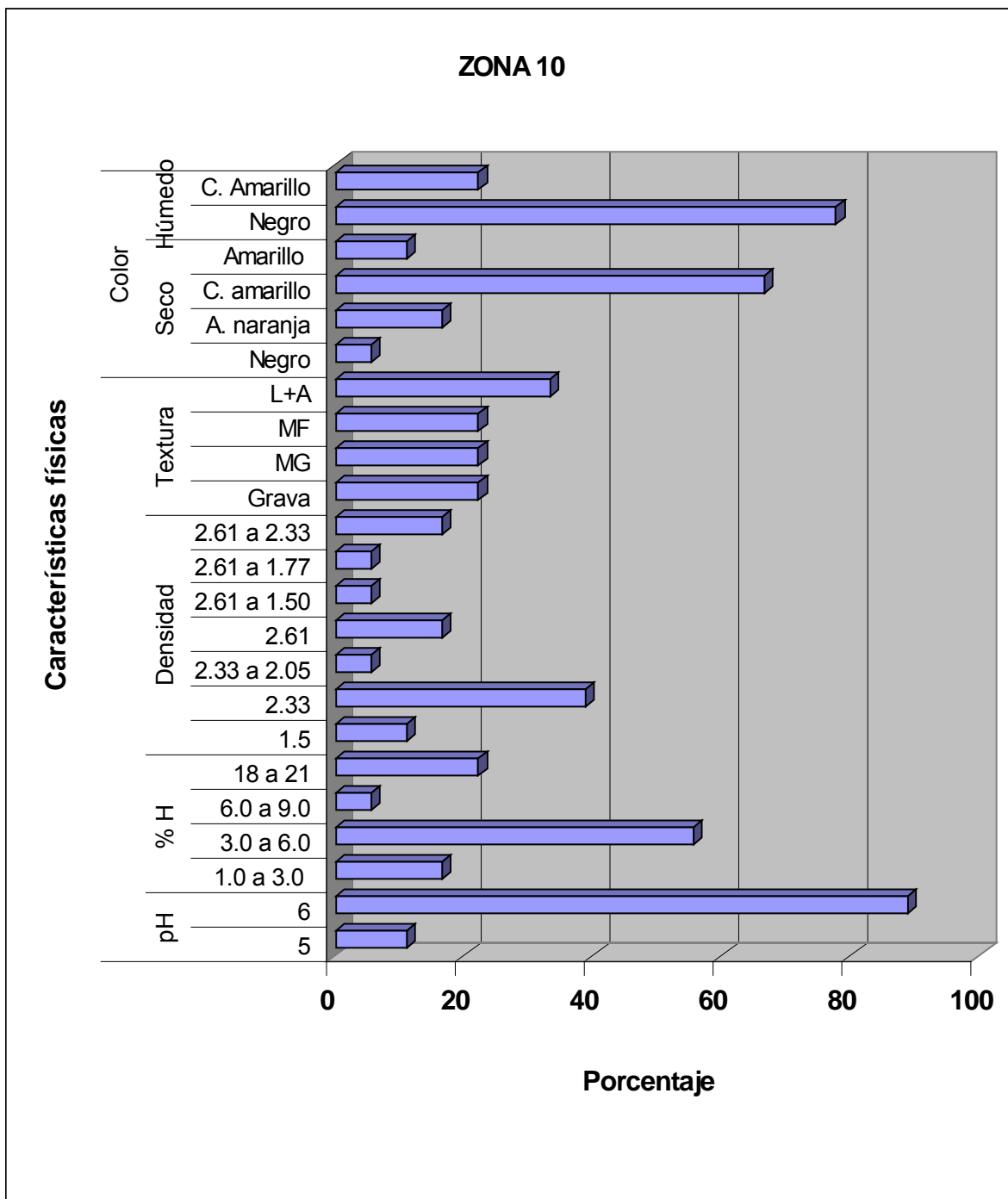


FIGURA N° 20: Gráfico de los resultados de la determinación de características físicas de la Zona 10

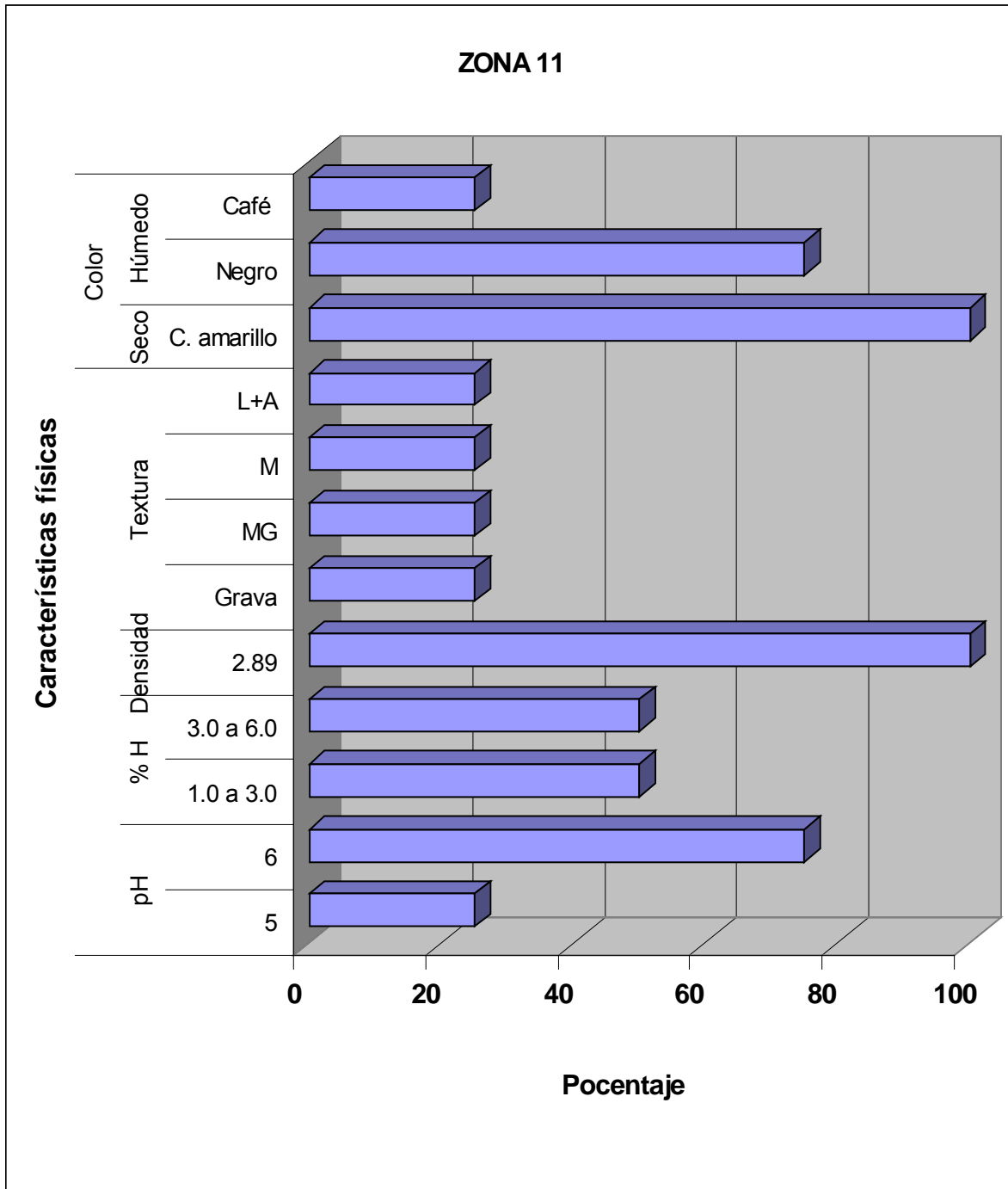


FIGURA N° 21: Gráfico de los resultados de la determinación de características físicas de la Zona 11

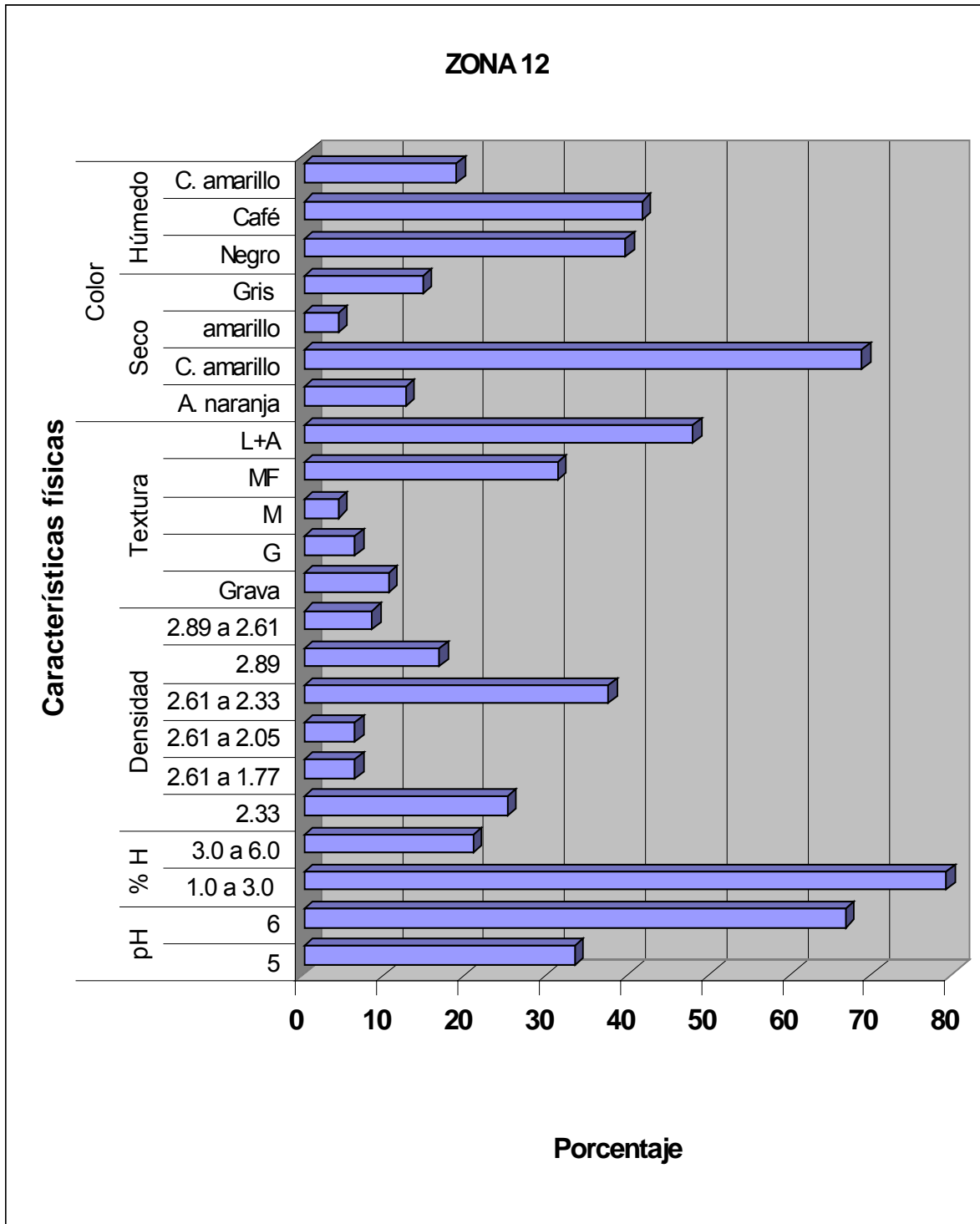


FIGURA N° 22: Gráfico de los resultados de la determinación de características físicas de la Zona 12.

DATOS CONSOLIDADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS DE LA TIERRA DEL MUNICIPIO DE SAN SALVADOR.

TABLA N° 18: Porcentaje de tipo de color para tierra seca.

Color en seco	Negro	Naranja mate	Café amarillo	Café	Amarillo	Gris claro	Total
Porcentaje (%)	0.79	22.68	65.01	2.03	4.25	5.24	100

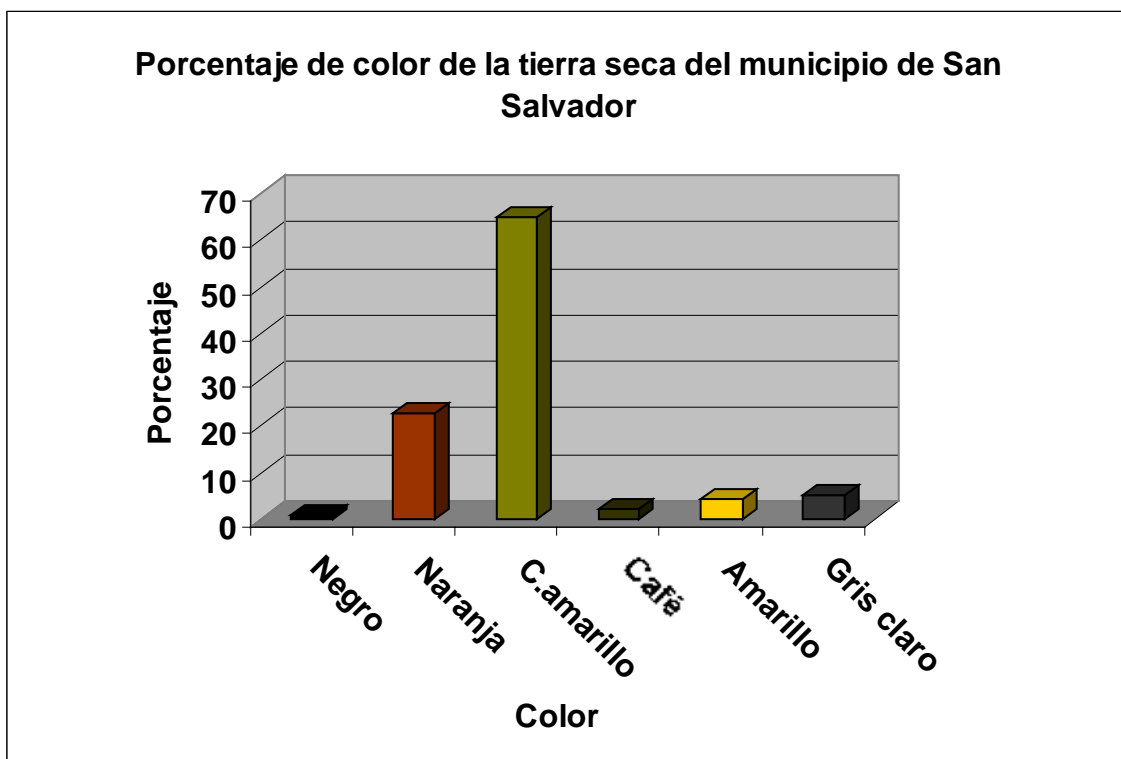


FIGURA N° 23: Gráfico del color en seco de la tierra del municipio de San Salvador.

TABLA N° 19: Porcentaje de tipo de color para tierra húmeda.

Color en húmedo	Negro	Naranja mate	Café	Café amarillo	Total
Porcentaje (%)	48.14	1.34	37.40	13.12	100

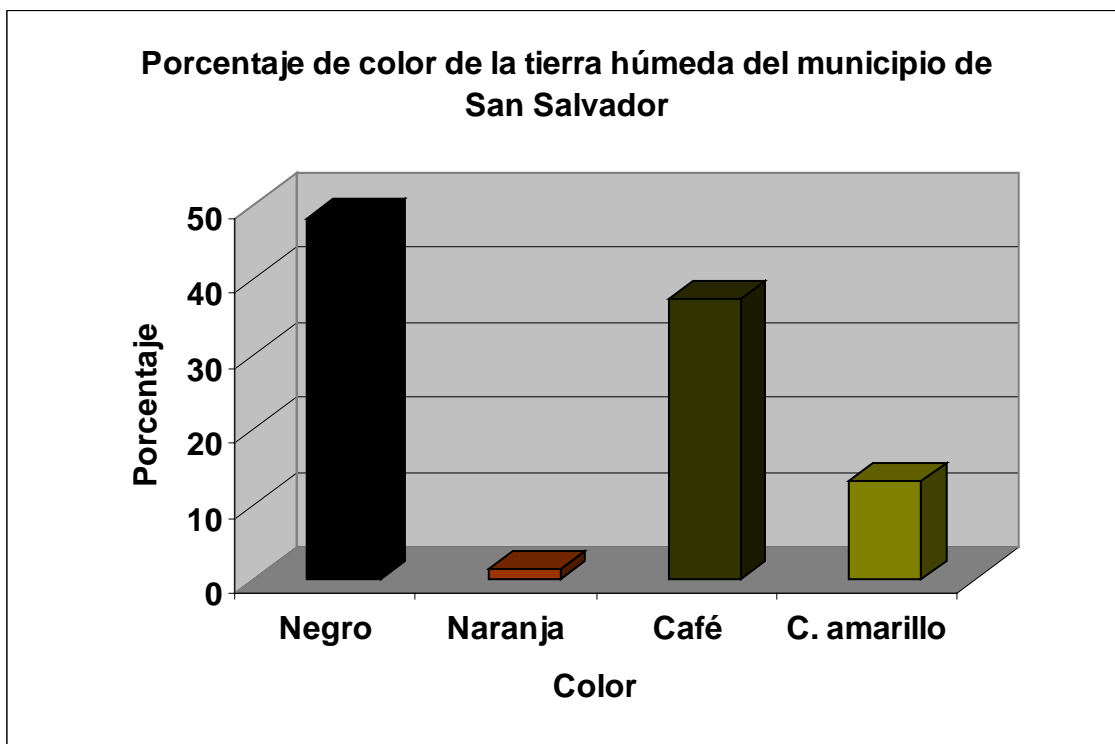


FIGURA N° 24: Gráfico del color en húmedo de la tierra del municipio de San Salvador.

TABLA N° 20: Porcentaje de tipo de textura para el municipio de San Salvador.

Textura	Grava	MG	G	M	F	MF	L+A	Total
Porcentaje (%)	14.20	14.97	1.85	9.86	1.50	26.0	31.62	100

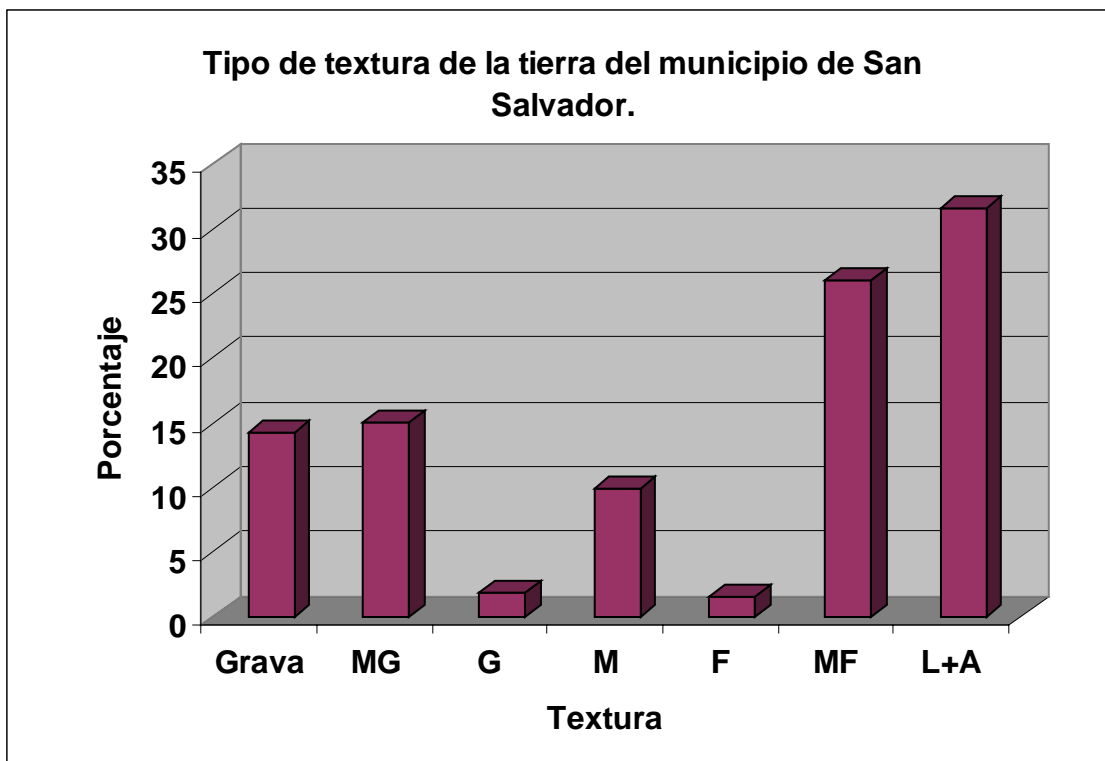


FIGURA N° 25: Gráfico del tipo de textura de la tierra del municipio de San Salvador.

TABLA N° 21: Valores de densidad para el municipio de San Salvador.

Densidad (g/mL)	1.50	2.33	2.61	2.89	2.33	2.61	2.61	2.61	2.61	2.89	2.89	2.89	2.89	total
rangos					a	a	a	a	a	a	a	a	a	
					2.05	1.50	1.77	2.05	2.33	1.50	2.05	2.61	2.33	
Porcentaje (%)	1.59	45.7	5.55	16.8	5.39	1.01	2.46	1.09	17.1	0.30	1.12	1.39	0.30	100

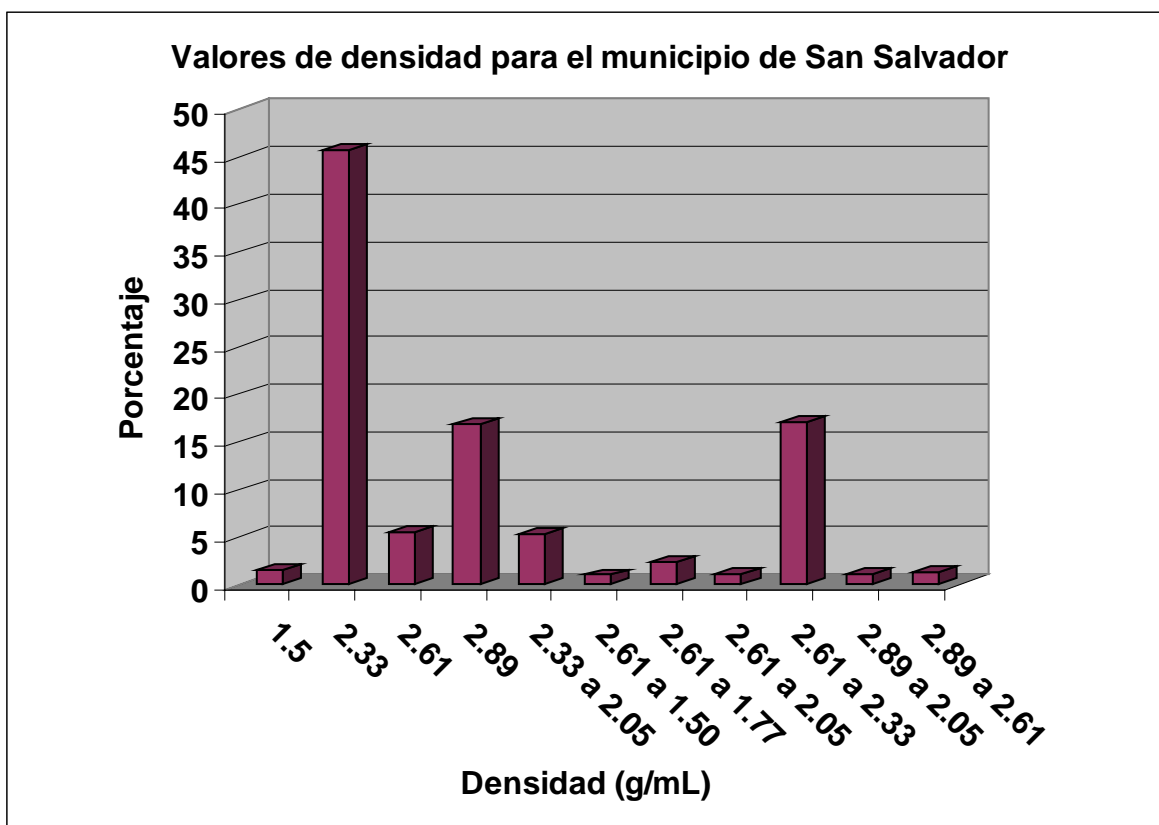


FIGURA N° 26: Gráfico del resultado de la densidad para el municipio de San Salvador.

TABLA N° 22: Valores de porcentaje de humedad para el municipio de San Salvador.

Humedad (%)	1 a 3	3 a 6	6 a 9	9 a 12	12 a 15	15 a 18	18 a 21	21 a 24	Total
Porcentaje (%)	54.73	34.79	1.79	2.68	0.89	0.0	3.82	1.30	100

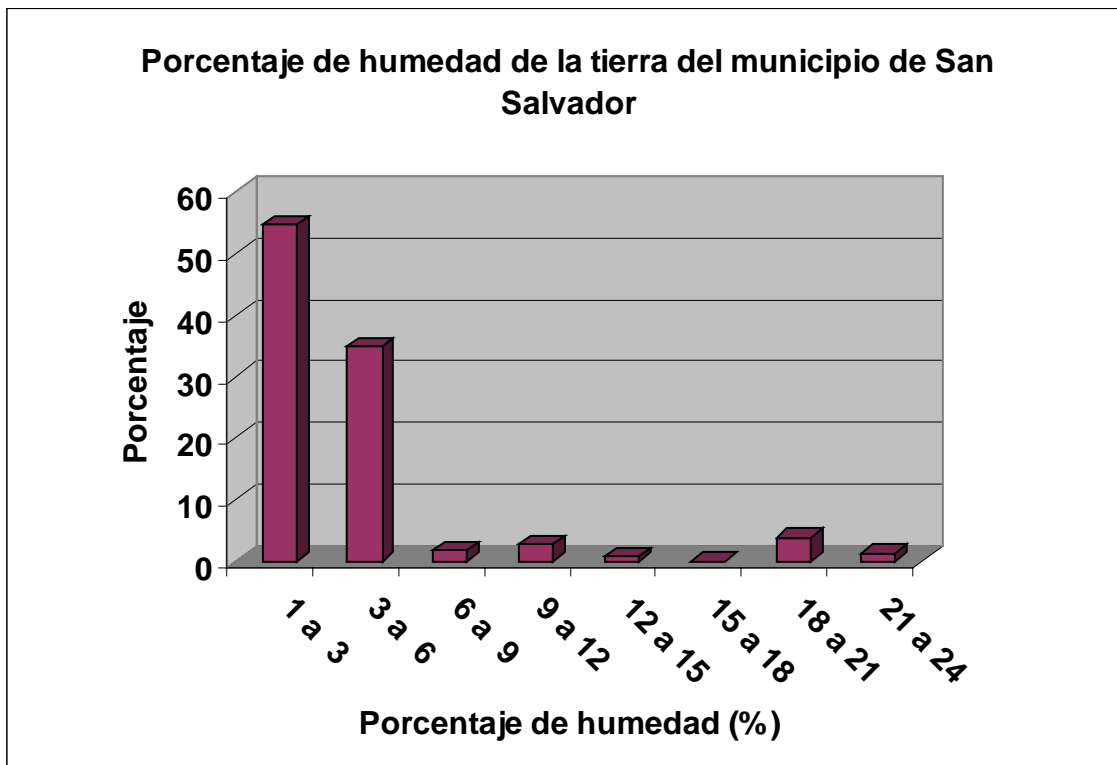


FIGURA N° 27: Gráfico del porcentaje de humedad para el municipio de San Salvador.

TABLA N° 23: Valores de pH para el municipio de San Salvador.

pH	5	6	7	Total
Porcentaje (%)	15.16	80.46	4.38	100

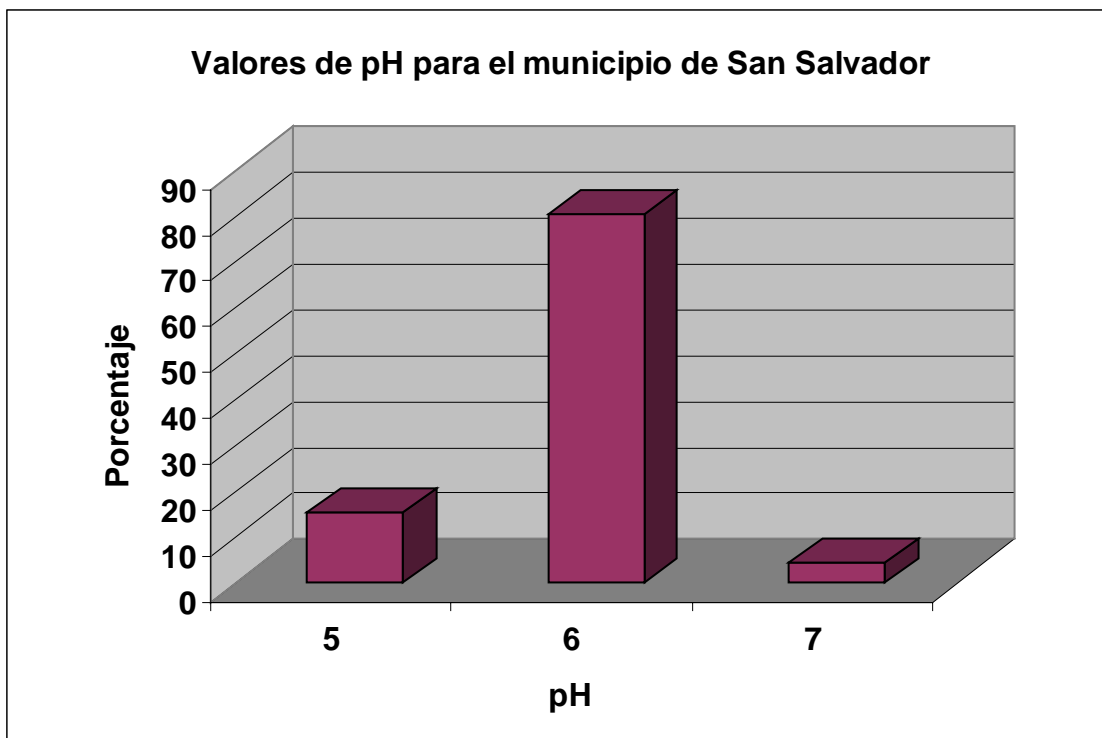


FIGURA N° 28: Gráfico del resultado de pH para el municipio de San Salvador.

Se elaboró un muestrario con las muestras de tierra, el cual está comprendido por una fotografía de las características originales del lugar, 15.0 g de muestra original, colocada en un embalaje plástico transparente para comparación visual, un cuadro resumen que contiene el color, el porcentaje de humedad, el pH y alguna observación pertinente y finalmente la fotografía del resultado de la densidad, para observar el comportamiento de las partículas.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

COLOR

El color se interpretó según la comparación con la tabla de colores Munsell, tomando en cuenta las características de tono, luminosidad y saturación.

La interpretación del análisis del color se hizo por comparación de cada muestra con las tablas de colores de Munsell, donde se obtuvo que en los diferentes sectores de las zonas del municipio de San Salvador, el color que mayor predominó cuando la muestra está en forma seca fue el color café amarillento; y cuando la muestra se encuentra en forma húmeda es el color negro, seguido cercanamente del color café. Ver el gráfico de la figura N° 23, donde se observa que el color de mayor porcentaje para la tierra seca es el café amarillento; y el gráfico de la figura N° 24, que hace referencia a que el color de mayor incidencia en la tierra húmeda es el color negro.

TAMAÑO DE PARTÍCULA

La interpretación se hizo por medio del cálculo de la fracción que quedó retenida en el tamiz, determinando el porcentaje que había en la muestra de cada tamaño de partícula. Se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de fracción} = \frac{\text{peso de fracción retenida (g)}}{\text{peso total de muestra (g)}} \times 100$$

El análisis del tamaño de partícula nos refleja la textura, para obtener la clase granulométrica posteriormente de realizado el tamizado; en donde se pudo identificar que la fracción que mayormente se encontró presente fue la mezcla de limo y arcilla hasta la de arena muy fina. Es decir que en el municipio de San Salvador la mayoría de las partículas son de tamaños menores a 0.250 mm de diámetro. Ver el gráfico de la figura N° 25, se observa que el mas alto porcentaje de incidencia pertenece a la mezcla de limo y arcilla.

DENSIDAD

La interpretación fue hecha por la distribución de las partículas en varios niveles de la columna; se observaron las columnas sobre un fondo blanco, relacionando el nivel donde hubo mayor concentración de partículas con la densidad que le correspondía a ese nivel. Los resultados se fotografiaron⁽⁶⁾. Si el suelo como Evidencia se comporta de la misma manera que el suelo testigo podría decirse que ambos tienen origen común. Y se admite que, si dos muestras no presentan el mismo comportamiento en la prueba, es improbable que los suelos hayan compartido un origen común.

La densidad de las partículas que componen la tierra de este municipio están significativamente agrupada alrededor del nivel que corresponde a la densidad de 2.33 g/mL, con cierto grado de dispersión en varios casos. Ver el gráfico de la figura N° 26, la barra de mayor porcentaje pertenece a la densidad de 2.33 g/mL.

HUMEDAD

La interpretación se hizo por medio de una fórmula para obtener el porcentaje de humedad que poseía la muestra.

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{psh} - \text{pss (g)}}{\text{pss (g)}} \times 100$$

psh = peso del suelo húmedo

pss = peso del suelo seco

100 = porcentaje

Con respecto al porcentaje de humedad que se encontró en los diferentes sectores que fueron estudiados, esta se presenta en la mayor parte de las muestras en un valor que oscila entre el 1 al 6 por ciento, es decir que la tierra del municipio de San Salvador se considera seca. Ver el gráfico de la figura N° 27, la mayor incidencia pertenecen a los porcentajes de humedad que van de 1 a 3 % y de 3 a 6 %.

ANÁLISIS MICROSCÓPICO

La interpretación fue por medio de la descripción de las partículas observadas en el microscopio, su forma, color y frecuencia.

Para el análisis microscópico, cuya interpretación se realizó por medio de la descripción de los gránulos mineralógicos observados, solo se puede indicar que dentro del tipo granulométrico de las rocas (R) el color mas frecuente que estas presentan es el café, seguido del gris; con respecto a los cristales (C), el color mas frecuente es el transparente (similar al vidrio), seguido del color gris; con respecto al tipo partículas (P) donde las más comunes eran grises, seguidas del café; y

finalmente con respecto a la forma de dichos gránulos, encontramos las formas irregulares, polimórficas o puntiformes, en su gran mayoría. Referencias en los cuadros de resultados de las tablas 11 a la 17.

DETERMINACIÓN DE pH

Se interpretó por el resultado numérico directo que dio el papel indicador certificado utilizado, al comparar el color dado con la tabla.

En la determinación de pH, se observó que el valor más constante pertenecía al pH de 6. Ver el gráfico de la figura N° 28, donde el pH de mayor porcentaje es de 6. La aplicación del análisis de pH, en este caso, se puede decir que no es determinante para diferenciar muestras obtenidas dentro de la región estudiada; sin embargo el pH se vuelve importante para poder descartar una muestra que, aunque cumpla las otras características propias para la región, y no tenga el pH en el rango que se encontró en el municipio, indica que probablemente dicha muestra pertenece a otra región.

De la investigación realizada se obtuvo como resultado un muestreo representativo, es decir muestras que representaban las características del suelo del municipio de San Salvador; todo ello debido al seguimiento que se dio según la técnica de recolección de muestras planteada en el proyecto.

CONCLUSIONES

- 1.- El color de la tierra del municipio de San Salvador es variable, partiendo del color café amarillento hasta el color negro, variando el tono según su humedad, predominado en forma seca el color café amarillento y en forma húmeda el color negro. Todo esto basado en la tabla de Munsell.

- 2.- El suelo del municipio de San Salvador esta formado en un alto porcentaje por limo y arcilla, además de una considerable cantidad de arena fina. La separación entre limo y arcilla no fue posible realizarla debido a la falta del tamiz correspondiente (# 400 de mesh).

- 3.- Dentro del análisis de la densidad encontramos el mayor porcentaje concentrado en 2.33 g/mL, lo que establece que en las muestras analizadas predomina una composición homogénea; también en menor porcentaje encontramos muestras que se suspenden dispersas en mas de un nivel, es decir que en esas muestras la composición de partículas es mas variable o heterogénea.

- 4.- La tierra del municipio de San Salvador se caracteriza por presentar un bajo contenido de humedad, lo cual la identifica como tierra seca dentro de su clasificación de consistencia, es decir que esta tierra esta entre suelta y muy dura.

- 5.- Con los datos del análisis microscópico se puede caracterizar el tipo, el color y la forma de las partículas presentes en las muestras, pero no se pueden cuantificar. Lo cual se ha planteado en la discusión de resultados.
- 6.- Con base al resultado obtenido del análisis de pH, el suelo del municipio de San Salvador es ligeramente ácido.
- 7.- La hipótesis planteada en el proyecto es afirmativa, es decir que la tierra del municipio de San Salvador sí puede identificarse por medio de sus características físicas, y que estas son propias de su región de origen.
- 8.- El muestrario resulta factible de consultar en el momento que sea necesario y cumple con el objetivo de ser un patrón de comparación para futuras investigaciones forenses; por lo que el proyecto resuelve la falta de material de comparación para la zona metropolitana del municipio de San Salvador, que será de gran valor para la D.P.T.C. de la P.N.C..

RECOMENDACIONES

- 1.- Que la muestra de tierra testigo de un hecho delictivo (Evidencia) sea tomada adecuadamente tan pronto como haya ocurrido el hecho, para evitar su alteración.
- 2.- Que idealmente el color de las muestras de tierra a ser analizadas sea comparado con la tabla de colores de Munsell, para que la determinación del color sea lo mas fiel posible.
- 3.- Para poder realizar de forma completa la clasificación granulométrica, se hace necesario la obtención de un tamiz # 400 con numero de catálogo 57324-567, según catálogo de Merck 2000/2001, (propiedad de la D.P.T.C. de la P.N.C.); ya que no se cuenta en el laboratorio con un tamiz propio para separar el limo de la arcilla.
- 4.- Para la realización del análisis de densidad se recomienda utilizar siempre la fracción que pase el tamiz # 40 y que retenga el tamiz # 60, para que las condiciones que se mantuvieron durante la realización del proyecto se conserven; es decir que dicho análisis permanezca estándar.
- 5.- Para asegurar que la muestra no recupere la humedad perdida en el proceso de calentamiento, se recomienda mantener la muestra en un desecante

adecuado (silica gel), y asegurando que este se mantenga en optimas condiciones.

- 6.- Para futuras investigaciones microscópicas, debe contarse con investigación mineralógica (tipos de minerales específicos), para poder hacer una identificación y clasificación de los minerales presentes en la tierra del área en estudio.
- 7.- El HPLC puede utilizarse como técnica instrumental para la comparación de la composición de una muestra de tierra; pero no es recomendable realizar cromatogramas como patrón de comparación, debido a factores que deben evaluarse para el proceso de estandarización.
- 8.- Darle a conocer al personal del área de físico-químico de la D.P.T.C. de la P.N.C. la información completa obtenida con el presente proyecto, de manera que se encuentren capacitados para la realización de todos estos análisis.
- 9.- El personal del área de físico-químico de la D.P.T.C. de la P.N.C. debe darle el uso adecuado al muestrario y a la información en él plasmada, para auxiliarse en la resolución de los casos que contengan muestras de tierra entre sus Evidencias, perteneciente a la región estudiada en el proyecto.

- 10.- Que la Institución le de continuidad al proyecto para lograr contar con material de comparación para otras regiones, tanto del departamento como del país en general.

- 11.- Así mismo en cada cierto período se debe actualizar el muestrario debido a cambios en las diferentes zonas estudiadas.

- 12.- Dar el uso correcto al programa de autocad 2000, para la aplicación practica de toda la información en él recopilada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bonilla, Sonia: “MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISIS DE SUELOS”
División de Investigación Agrícola, M.A.G., San Andrés, El Salvador. 1993.
Pág. 57-59
2. C.E.N.T.A. (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria, ES): “MANUAL
PARA CURSOS DE SUELOS” El Salvador 1993
3. De Forest, Peter y Otros: “FORENSIC SCIENCE” McGraw-Hill, U.S.A. 1983
Pág. 180-190
4. D.P.T.C. (División Policía Técnica Científica, ES): “MANUAL DE
PROCEDIMIENTOS DEL ÁREA FÍSICO QUÍMICO” P.N.C. El Salvador.
Revisión 2003
5. F.B.I. (Federal Bureau of Investigations, U.S.A.): “HANDBOOK OF FORENSIC
SCIENCE” Washington D.C., U.S.A. Pág. 48-49
6. López, Milagros Eva: “PERSPECTIVA FORENSE DEL ANÁLISIS DE
TIERRAS” Mayo, 1996. Pág. 1, 11-57, 63
7. Marumo, Yoshiteru: “LOS ELEMENTOS DE PRUEBA GEOLÓGICOS EN LA
INVESTIGACIÓN JUDICIAL” Ciencias Legales (traducción). Japón. 2001.
Pág 75-82
8. Ministerio de Cultura y Comunicaciones: “GEOGRAFÍA DE EL SALVADOR”
Dirección de publicaciones. San Salvador, El Salvador. 1986. 1º Tomo Pág.
97, 102-110, 112-113, 116.
9. Ortiz, Eladio: “ASÍ SE INVESTIGA: PASOS PARA HACER UNA
INVESTIGACIÓN” 2ª Edición, Clásicos Roxil, El Salvador. 2001. Pág. 53-126

10. Ortíz Villanueva y otros: "EDAFOLOGÍA" 6ª Edición, Universidad Autónoma Chapingo, México. 1987. Pág. 51-102
11. Saferstein, Richard: "FORENSIC SCIENCE HANDBOOK" Prentice-Hall, New Jersey, U.S.A. 1982. Vol. I Pág. 653-669
12. Siegel, Jay: "CRIMINALISTICS 1" School of criminal justice. Michigan State University, U.S.A. 1989. Pág 75
13. Thornton, John I.: "FORENSIC SOIL CHARACTERIZATION" Forensic Progress 1, California U.S.A. 1986. Pág. 1-15, 21-23.

ANEXOS

ANEXO N° 1

MATERIAL Y EQUIPO

Materiales

- vehículo y gasolina
- tarros de 6 onzas con tapadera
- pala de jardinería de 12 cm
- rastrillo jardinero de 12 cm
- pico jardinero de 12 cm
- plumones marcadores
- guantes desechables
- cámara fotográfica profesional Nikon
- rollos fotográficos
- tirro o cinta adhesiva
- bolsas plásticas

Material de laboratorio y equipo

- termómetro
- cristalería (beakers, pipetas, agitadores, tubos, balones, vidrio de reloj)
- gradilla
- desecador de vidrio
- tamices (# 5, 10, 20, 40, 60 y 150)
- reloj
- espátula y microespátula

- papel pH certificado EM-Reagents
- tabla patrón de colores de munsell
- centrifuga Fisher scientific
- frasco lavador
- cámara extractora de gases
- balanza analítica Scaltex
- estufa Blue M
- microscopio estereoscópico Leica
- selladora al calor

Reactivos

- bromoformo grado purificado
- bromobenceno certificado
- agua destilada

ANEXO N° 2

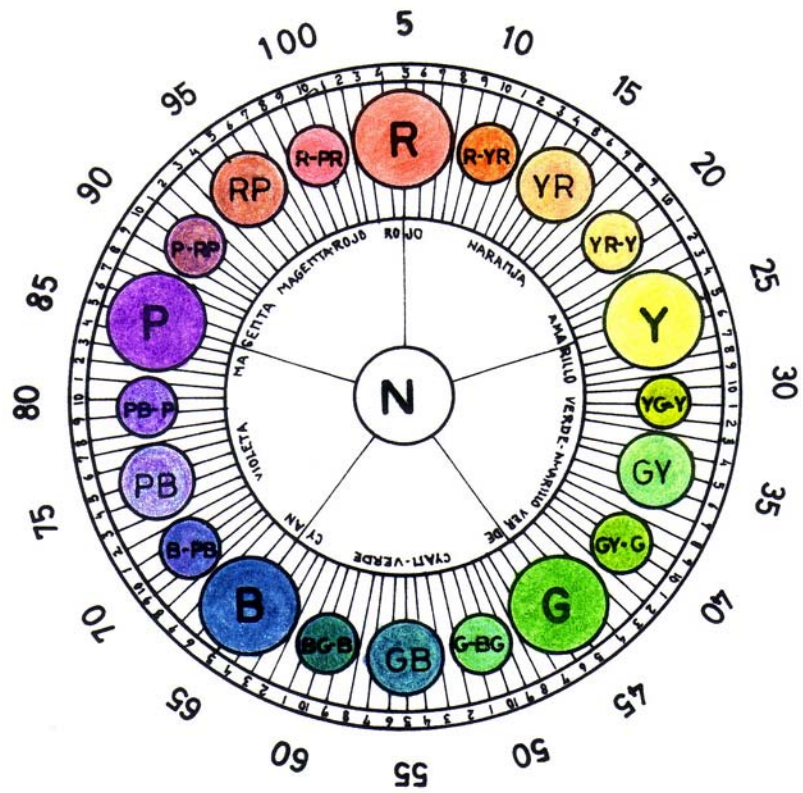


FIGURA N° 29: SÓLIDO DE COLORES DE LA TABLA DE MUNSELL.

ANEXO N° 3

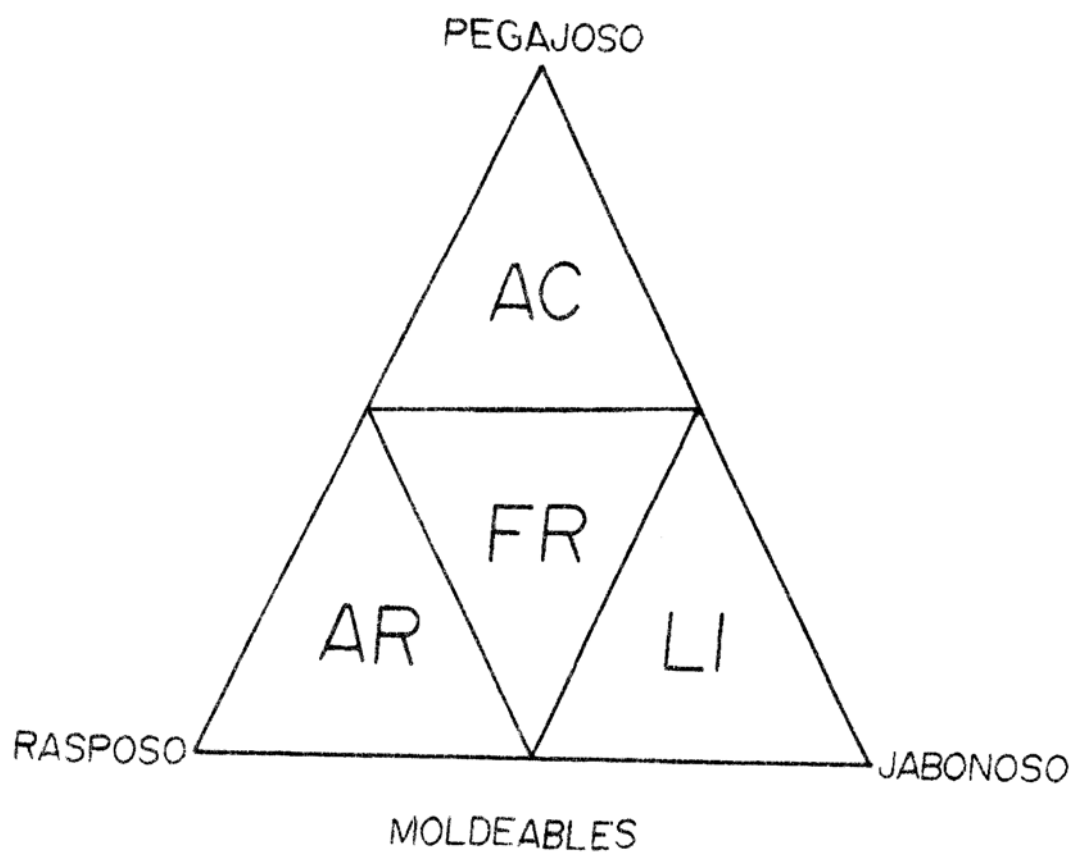
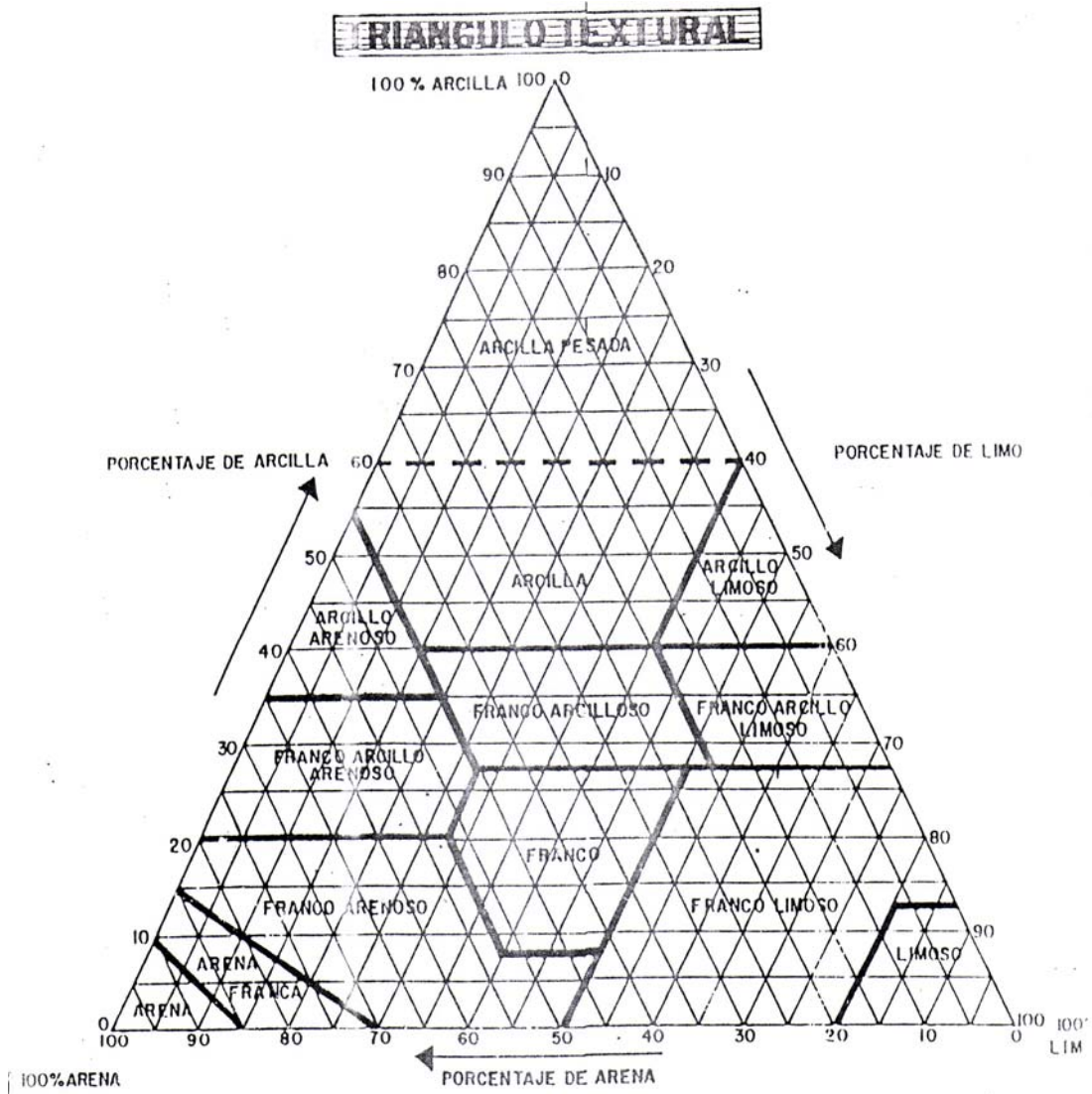


FIGURA N° 30: TRIÁNGULO DE DETERMINACIÓN DE CAMPO.

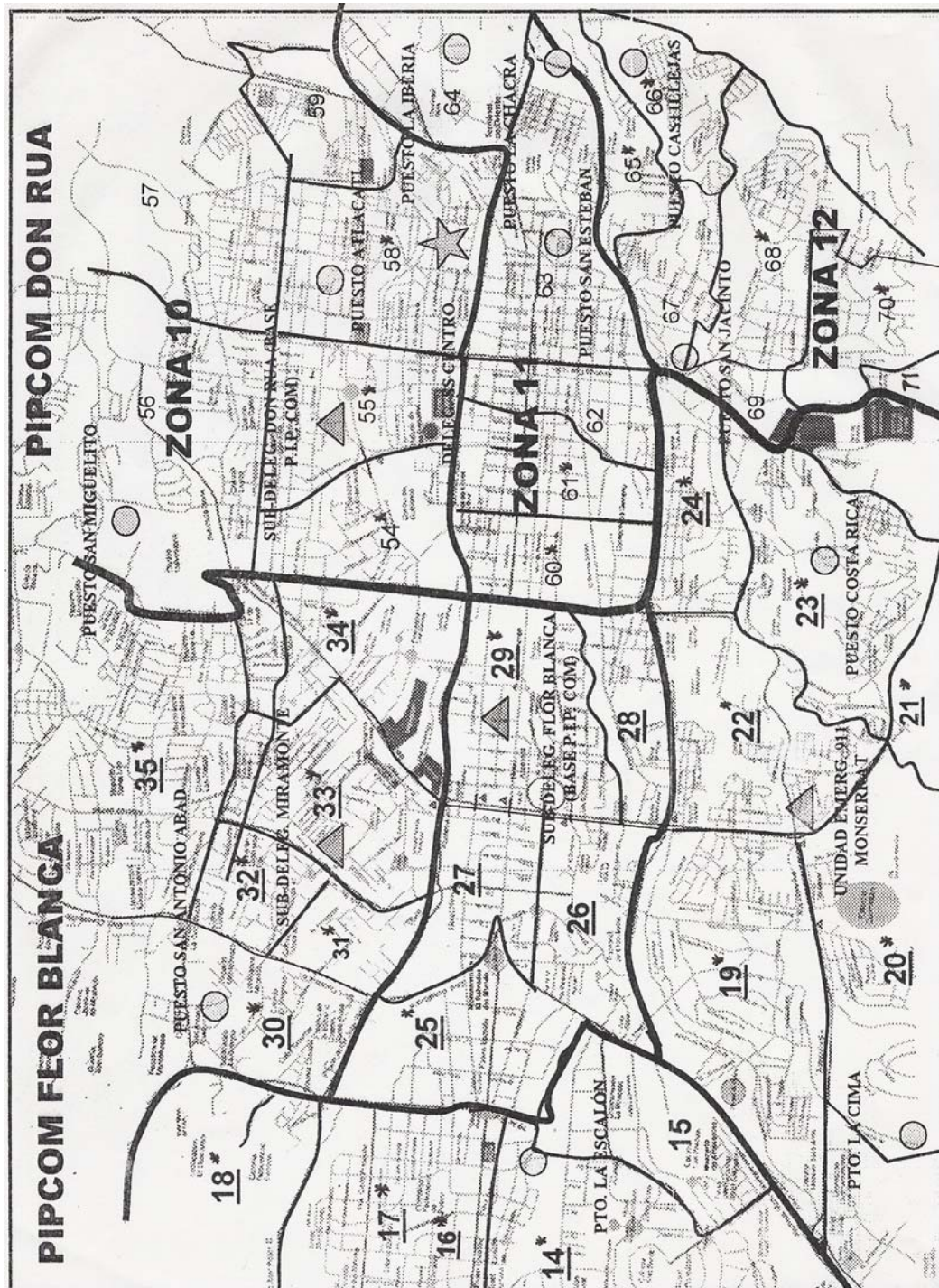
ANEXO N° 4



GUIA PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE CAMPO EN BASE A LA TEXTURA

FIGURA N° 31: TRIÁNGULO TEXTURAL.

ANEXO N° 5



* Son los sectores a muestrear.

FIGURA N° 32: MAPA DE SECTORIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SAN SALVADOR.

ANEXO N ° 6



FIGURA N° 33: FOTOGRAFÍA DE LA UBICACIÓN Z3S14B.

ANEXO N° 7

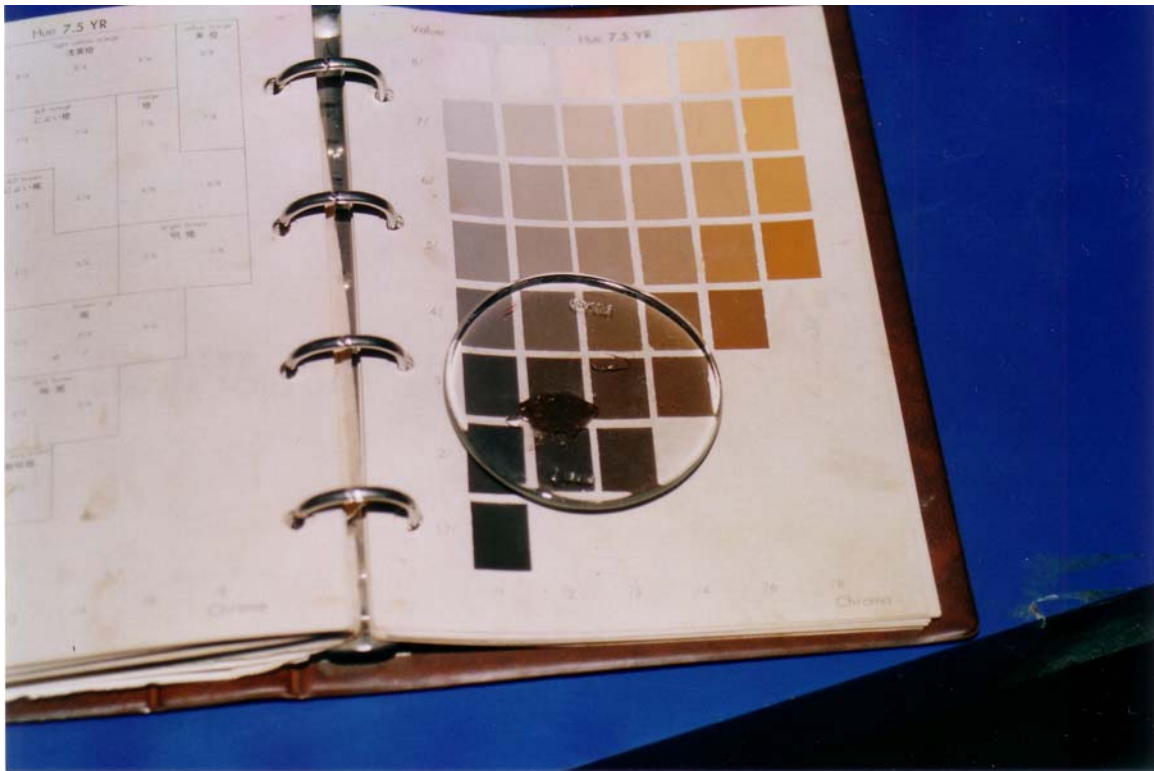


FIGURA N° 34: TABLA DE MUNSELL PARA COMPARACIÓN EN ANÁLISIS DE COLOR

ANEXO N ° 8



FIGURA N° 35: COLUMNA DE TAMICES

ANEXO N° 9

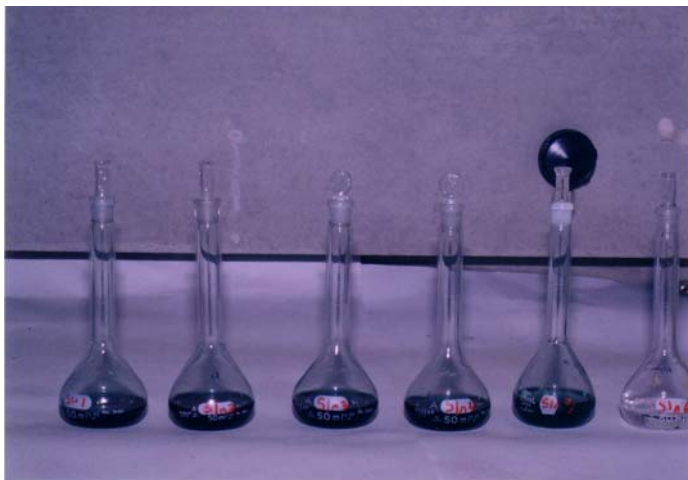


FIGURA N° 36: SOLUCIONES DE BROMOFORMO Y BROMOBENCENO

ANEXO N° 9.1

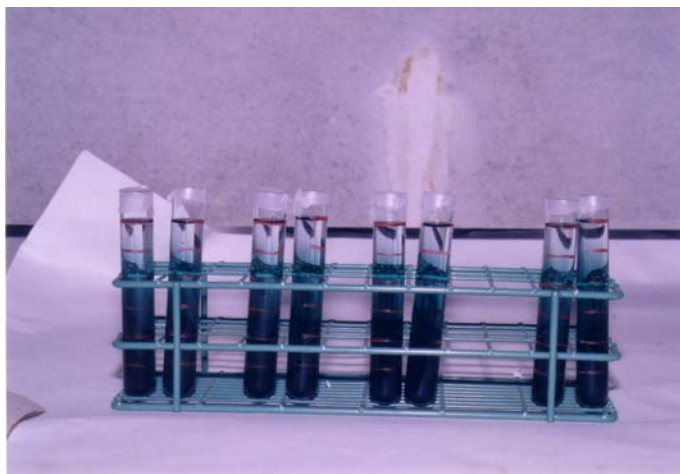


FIGURA N° 37: TUBOS PARA PRUEBA DE DENSIDAD.

ANEXO N° 10



FIGURA N° 38: ESTUFA PARA ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE HUMEDAD.

ANEXO N° 10.1



FIGURA N° 39: DESECADOR CON SILICA GEL.

ANEXO N° 11



FIGURA N° 40: ANÁLISIS MICROSCÓPICO.

ANEXO N° 12



FIGURA N° 41: CENTRÍFUGA PARA LA DETERMINACIÓN DE pH.

ANEXO N° 13

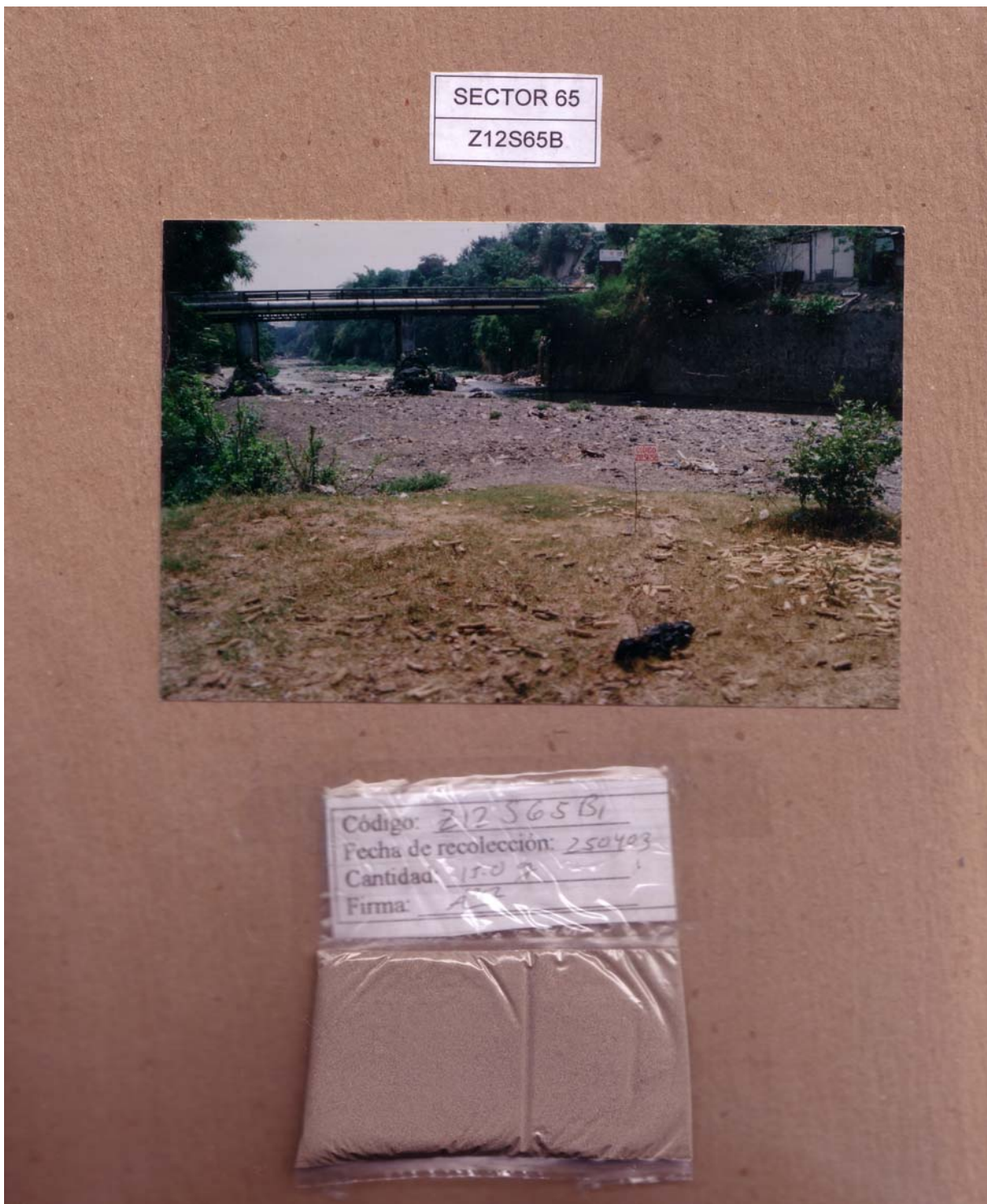


FIGURA N° 42: PARTE DEL ANVERSO DEL MUESTRARIO.

ANEXO N° 14

Cuadro de resultados de los análisis físicos de las muestras de tierra.

Z12S65B		Rango de % de tamaño de partícula	
Color en seco	C. amarillo	3.400 mm	0 – 1 %
Color en húmedo	Café	1.700 mm	1 – 5 %
% de humedad	1 a 3 %	0.850 mm	3 – 8 %
pH	6	0.425 mm	5 – 18 %
Plasticidad	Poca	0.250 mm	7 – 23 %
Pedregosidad	Poca	0.100 mm	25 – 33 %
Textura	Limo y arcilla	>0.100 mm	13 – 49 %
Densidad		2.33 g/ml disperso	

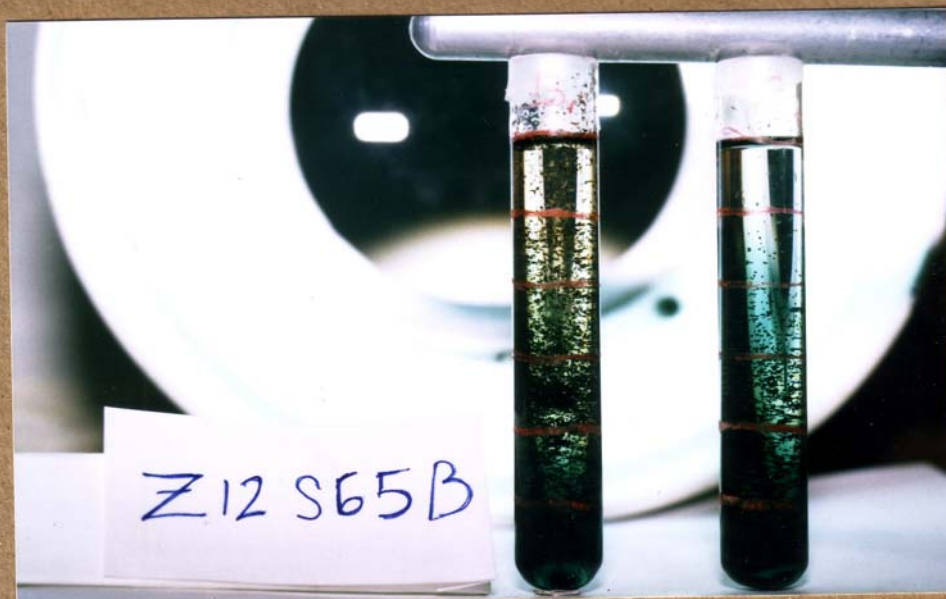


FIGURA N° 43: PARTE DEL REVERSO DEL MUESTRARIO.