

1-1-2002

Determinación de las zonas de protección de los aljibes en la cuenca del Río Subachoque

Jenny Sugey Andrade Suárez
Universidad de La Salle, Bogotá

Edna Magaly Gamboa Rojas
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Andrade Suárez, J. S., & Gamboa Rojas, E. M. (2002). Determinación de las zonas de protección de los aljibes en la cuenca del Río Subachoque. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1818

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN DE LOS ALJIBES EN LA
CUENCA DEL RÍO SUBACHOQUE

JENNY SUGEY ANDRADE SUÁREZ

EDNA MAGALY GAMBOA ROJAS

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ, D.C.

2002

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN DE LOS ALJIBES EN LA
CUENCA DEL RÍO SUBACHOQUE

JENNY SUGEY ANDRADE SUÁREZ

EDNA MAGALY GAMBOA ROJAS

Tesis para optar el título de
Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director
JOSÉ ANTONIO GALINDO MARTÍNEZ
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ, D.C.

2002

Nota de aceptación

Dr. Camilo Guaqueta Rodríguez
Decano Facultad Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Dr. José Antonio Galindo Martínez
Secretario Académico Facultad Ingeniería Ambiental Y Sanitaria
Director

Dr. Hugo Cañas Cervantes
Jurado

Dr. Hernando Amado Baena
Jurado

Bogotá, Abril de 2002

AGRADECIMIENTOS

Las autoras desean expresar sus más sinceros agradecimientos a:

José Antonio Galindo Martínez, Ingeniero Civil y Director de la Investigación, por sus valiosas orientaciones.

Hugo Cañas Cervantes, Geólogo y Jurado de la Investigación, por su constante colaboración y dedicación a lo largo de esta investigación.

Hernando Amado Baena, Ingeniero Civil y Jurado de la Investigación.

Jairo Benjamín Pérez, Ingeniero Civil y Director de Aguas Subterráneas de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca –CAR-. Por brindarnos los recursos necesarios y su constante apoyo para la ejecución de la investigación.

Gilberto Almeida, Geólogo, por su valiosa colaboración en el desarrollo de la investigación.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR- .

A Dios y a nuestros Padres por su constante apoyo y dedicación para con nosotras durante toda nuestra carrera.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 METODOLOGÍA	5
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
2.1 LOCALIZACIÓN	7
3. HIDROGEOLOGÍA GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	8
3.1 SUELOS	8
3.1.1 Geología	9
3.1.1.1 Geografía Física	9
3.1.1.2 Estratigrafía	10
3.1.1.2.1 Depósitos Cuaternarios (Q)	10

3.1.1.2.2 Depósitos Terciarios (T)	12
3.1.1.2.3 Depósitos Cretácicos (K)	14
3.2 USOS DEL SUELO	17
3.3 HIDROGEOLOGÍA	19
3.3.1 Unidades Hidrogeológicas	20
3.4 HIDROLOGÍA	27
3.4.1 ANÁLISIS CLIMÁTICO	27
3.4.1.1 Precipitación	29
3.4.1.2 Temperatura	34
3.4.1.3 Humedad Relativa	35
3.4.1.4 Evaporación	36
3.4.1.5 Evapotranspiración	37
3.4.1.6 Brillo Solar	41
3.4.2 Análisis de caudales	41
3.4.2.1 Curvas de Duración	43
3.4.2.2 Análisis de Hidrogramas	45
3.4.3 Recarga por infiltración	45
3.4.4 Análisis de la red de flujo	46
3.4.5 Balance hídrico	47
4. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	49
5. ZONAS DE PROTECCIÓN	50
5.1 EVALUACIÓN AMBIENTAL	50

5.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN.	51
5.3 DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN	53
5.3.1 Tipos de Zonas de Protección de las fuentes	53
5.3.1.1 Zona de Protección Interior	53
5.3.1.2 Zona de Protección Exterior	54
5.3.1.3 Zona de Captura de las Fuentes	54
5.4 MÉTODOS DE DELINEACIÓN	55
5.4.1 Métodos Manuales	56
5.4.1.1 Ecuaciones Básicas	56
5.4.1.2 Soluciones Analíticas	58
5.4.2 Métodos Semi – analíticos – WHPA	59
5.4.2.1 Módulo RESSQC	60
5.5 EVALUACIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN DE LOS ALJIBES EN LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS.	61
5.6 ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE	63
5.6.1 Factores que controlan la forma de las zonas de protección	64
5.6.1.1 Factores Hidrogeológicos que influyen en las zonas de protección.	64
6. CONCLUSIONES	66
7. RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	75
MATERIAL ACOMPAÑANTE	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estaciones pluviométricas y climatológicas.	28
Tabla 2. Valores totales mensuales y anuales de precipitación.	30
Tabla 3. Media Aritmética.	31
Tabla 4. Polígonos de Thiessen.	32
Tabla 5. Isoyetas.	32
Tabla 6. Método combinado.	33
Tabla 7. Distancia al centroide.	34
Tabla 8. Resultado de la aplicación de las formulas de Evapotranspiración potencial.	38
Tabla 9. Índices estacionales	ANEXO
Tabla 10. Evapotranspiración real.	40
Tabla 11. Registros de caudal simulados año 1994.	ANEXO
Tabla 12. Registros de caudal simulados año 1982.	ANEXO
Tabla 13. Recarga neta anual en las unidades geológicas.	46
Tabla 14. Balance hídrico anual.	48
Tabla 15. Inventario puntos de agua.	ANEXO
Tabla 16. Métodos manuales y soluciones analíticas de las Zonas de Protección.	ANEXO
Tabla 17. Matriz de aceptabilidad de actividades con potencial de contaminación.	ANEXO
Tabla 18. Parámetros que influyen en la forma y tamaño de las zonas de protección.	ANEXO
Tabla 19. Problemas relativos a los datos de terreno y su influencia en los modelos y delineación de las zonas de protección.	ANEXO

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Distribución mensual de la precipitación.	30
Gráfica 2. Distribución mensual de la temperatura.	35
Gráfica 3. Distribución mensual de la humedad relativa.	36
Gráfica 4. Distribución mensual de la evaporación.	37
Gráfica 5. Estudio comparativo de las formulas de ETP en la estación La Primavera.	39
Gráfica 6. Distribución mensual del brillo solar.	41
Gráfica 7. Curva de duración para caudales medios diarios – Estación El Bosque – 1982.	44
Gráfica 8. Curva de duración para caudales medios diarios – Estación El Bosque – 1994.	44

LISTA DE PLANOS

Plano 1. Mapa General

Plano 2. Mapa Hidrogeológico

Plano 3. Mapa Isoyetas

Plano 4. Mapa Inventario de puntos de agua

LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1. Área de influencia y zona de captura de un pozo.

Esquema 2. Zona de captura alrededor de un pozo en un acuífero.

Esquema 3. Modelación de las zonas de protección para los aljibes inventaria

FOTOGRAFÍA 3. Cauce del Río Subachoque – Localidad La Pradera.

FOTOGRAFÍA 4. Cauce del Río Subachoque – Municipio Subachoque.

FOTOGRAFÍA 5. Usos del suelo – Cultivos transitorios.

FOTOGRAFÍA 6. Transformación del paisaje para practicas agrícolas.

FOTOGRAFÍA 7. Cultivos de flores – Municipio El Rosal.

FOTOGRAFÍA 8. Actividades de extracción – Perfil Geológico.

FOTOGRAFÍA 9. Vertimientos de aguas de origen doméstico.

FOTOGRAFÍA 10. Afluente – Quebrada Cruz Verde.

GLOSARIO

ÁREAS DE PROTECCIÓN

La protección de captaciones contra la contaminación consiste en definir una zona alrededor del pozo y aljibe, en la que se prohíban o limiten determinadas actividades que puedan contribuir con en el deterioro de la calidad del agua subterránea.

ACUÍFERO

Es cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas, que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

ACUÍFERO CONFINADO

Es aquel acuífero que está limitado en su parte superior por una unidad de baja conductividad hidráulica y el nivel piezométricos presenta una presión superior a la atmosférica.

ACUÍFERO LIBRE

Es un acuífero en el cual el nivel freático o nivel de saturación se encuentra a la presión atmosférica.

ACUÍFERO SEMICONFINADO

Aquel acuífero que tiene una unidad saturada de baja conductividad hidráulica en su parte superior o inferior que contribuye con un pequeño caudal (goteo) debido a los gradientes inducidos por bombeo del acuífero.

ACUITARDO

Es cualquier formación geológica por la que circula muy lentamente agua subterránea, por lo que generalmente no son utilizados para su explotación, uso o aprovechamiento.

AGUA SUBTERRÁNEA

Es el agua que se encuentra en el subsuelo, en formaciones geológicas parcial o totalmente saturadas.

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Es la propiedad de un medio geológico de permitir el flujo de agua subterránea en un acuífero o acuitardo, considerando las condiciones de densidad y viscosidad del agua.

DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA

Es la descripción de los estratos del subsuelo en cuanto a sus propiedades físicas, químicas e hidráulicas, de acuerdo al código de nomenclatura estratigráfica vigente.

DISCONTINUIDADES

Superficie marcada por modificaciones radicales de las propiedades físicas de las rocas. Estas discontinuidades pueden ser por ejemplo, fallas o fracturas.

FALLA

Es cuando se producen desplazamientos relativos de una parte de la roca con respecto a la otra, como resultado de los esfuerzos que se generan en la corteza terrestre.

FALLA ACTIVA

Son aquellas fallas que han sufrido desplazamiento durante el Holoceno (último millón de años).

FRACTURA

Es una discontinuidad en las rocas producida por un sistema de esfuerzos.

GEOFÍSICA

La ciencia que estudia las propiedades físicas de la tierra y el conocimiento de la estructura geológica de los materiales que la constituyen.

GEOLOGÍA

Es el estudio de la formación, evolución, distribución, correlación y comparación de los materiales terrestres.

HIDROGEOLOGÍA

Es el conjunto de actividades tales como perforaciones, determinación de la recarga, profundidades a nivel estático, interacción química agua-roca y propiedades hidráulicas que permiten conocer y localizar los sistemas de aguas subterráneas, su dirección y velocidad de movimiento.

HIDROLOGÍA

La ciencia que estudia los componentes primarios del ciclo hidrológico y su relación entre sí. Considera la interacción y dinámica de la atmósfera con cuerpos de agua superficial tales como ríos, arroyos, lagunas, lagos, etc.

INFILTRACIÓN

Introducción suave de un líquido entre los poros de un sólido referido al agua, el paso lento de ésta a través de los intersticios del suelo y del subsuelo.

NIVEL FREÁTICO

La superficie de agua que se encuentra en el subsuelo bajo el efecto de la fuerza de gravitación y que delimita la zona de aireación de la de saturación.

NIVEL PIEZOMÉTRICOS

Es el valor de la carga hidráulica observado de un acuífero o acuitardo a diferente profundidad en el mismo y en el medio saturado.

PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Es la conductividad hidráulica, la porosidad, la carga hidráulica, los gradientes hidráulicos de una unidad hidrológica, así como su coeficiente de almacenamiento.

PERCOLACIÓN

Es el movimiento descendente de agua a través del perfil del suelo debido a la influencia de la gravedad.

PERMEABILIDAD

La propiedad que tiene una sección unitaria de terreno para permitir el paso de un fluido a través de ella sin deformar su estructura bajo la carga producida por un gradiente hidráulico.

POROSIDAD

Es la relación entre el volumen de los espacios vacíos y el volumen total de la masa del suelo. En un suelo hay varios tamaños de poros y cada uno tiene una función específica. Poros grandes y medianos: facilitan la aireación y la infiltración, permiten la circulación del aire y el agua. Poros pequeños: conducen el agua y los microporos almacenan agua. La proporción de los poros grandes y pequeños en el suelo permite establecer un equilibrio aire-agua. Los poros permiten el desarrollo y la nutrición de la raíz y planta y toda actividad del suelo.

POROSIDAD EFECTIVA

Es la relación del volumen de vacíos o poros interconectados de una roca o suelo dividido por el volumen total de la muestra.

POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN

Es la interacción entre el tipo, intensidad, disposición y duración de la carga contaminante con la vulnerabilidad del acuífero; está definida por las condiciones de flujo del agua subterránea y las características físicas y químicas del acuífero.

RIESGO

El riesgo de contaminación de las aguas subterráneas se define como la probabilidad de que el acuífero, aunque no necesariamente una captación de agua, se contamine a niveles inaceptables.

SISTEMA DE FLUJO

Es definido por la dirección de flujo que sigue el agua subterránea, considerando las zonas de recarga y descarga, las cargas y gradientes hidráulicos a profundidad y el efecto de fronteras hidráulicas. Incluye además la interacción con el agua superficial y comprende sistemas locales, intermedios y regionales.

TALUD

Es la inclinación formada por la acumulación de fragmentos del suelo con un ángulo de reposo del material del terreno de que se trate.

UNIDADES LITOLÓGICAS

Conjunto de materiales geológicos compuestos predominantemente de cierta asociación de minerales que tienen un origen común.

VOLUMEN DE EXTRACCIÓN

Se refiere a la cantidad de agua subterránea que se extrae de un acuífero a través de pozos o norias.

VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación se ha definido ya como un conjunto de características intrínsecas de los estratos que separan la zona saturada del acuífero de la superficie del suelo y que determinan la sensibilidad del acuífero al efecto adverso de la aplicación de una carga contaminante.

ZONA DE AIREACIÓN

La zona que contiene agua bajo presión menor a la de la atmósfera, está delimitada entre la superficie del terreno y el nivel freático.

ZONA DE DESCARGA

Es la porción del drenaje subterráneo de la cuenca en la cual el flujo de agua subterránea fluye de mayor profundidad hacia el nivel freático; es decir el flujo subterráneo es ascendente.

ZONA DE INUNDACIÓN

Área sujeta a variaciones de nivel de agua por arriba del nivel del terreno asociadas con la precipitación pluvial, el escurrimiento y las descargas de agua subterránea.

ZONA DE RECARGA

Es la porción del drenaje subterráneo de la cuenca en la cual el flujo del agua subterránea fluye del nivel freático hacia mayor profundidad; es decir el flujo subterráneo es descendente.

ZONA DE SATURACIÓN

El área que se caracteriza por tener sus poros o fracturas llenas de agua, su límite superior corresponde al nivel freático y su límite inferior es una unidad impermeable.

ZONA NO SATURADA

Es el espesor que existe entre la superficie del terreno y el nivel freático. Es equivalente a la profundidad del nivel freático.

INTRODUCCIÓN

En muchas zonas urbanas, incluyendo varias capitales y grandes ciudades, una parte importante en el suministro de agua para los municipios se deriva del recurso hídrico subterráneo. El costo de producción relativamente bajo y una calidad natural buena, generalmente han sido suficientes para justificar su explotación a gran escala, incluso en regiones húmedas.

En vista de la importancia del abastecimiento de agua subterránea urge implementar o consolidar políticas para proteger los acuíferos contra la explotación excesiva o irracional y contra el deterioro de la calidad de su agua subterránea debido a la contaminación. Este es especialmente el caso dentro y alrededor de las zonas urbanas, donde las captaciones de aguas subterráneas se encuentran bajo una presión ambiental causada por el rápido desarrollo.

En Colombia el seguimiento y monitoreo de la explotación de los recursos hídricos subterráneos, adolece de planes de seguimiento que permitan a corto y mediano plazo, asegurar su sostenibilidad, en cuanto a la calidad y cantidad del recurso, haciendo cumplir las normas existentes por las entidades destinadas para tal fin, monitoreando constantemente las zonas de influencia determinadas para su protección.

En los nuevos Planes de ordenamiento territorial (POT), el recurso hídrico es núcleo esencial del desarrollo económico, social y ambiental de los municipios, por lo tanto se debe tener en cuenta el marco hidrogeológico de la misma que permita planificar el uso, manejo y aprovechamiento del recurso agua, compatibilizando

las demandas actuales y futuras que exige el desarrollo social y económico con la oferta del recurso, proponiendo las acciones conducentes a incrementar su disponibilidad a la protección de las fuentes, al mejoramiento de su calidad y su utilización.

La necesidad de lograr la máxima protección del acuífero dependerá también de la utilización actual o proyectada de las aguas subterráneas. Una política de protección de las captaciones de agua normalmente se aplica sólo a los pozos y manantiales de gran caudal que están siendo explotados como fuentes para el abastecimiento público. Se implementa ejecutando controles y/o supervisión sobre las actividades humanas desarrolladas en zonas definidas alrededor de la captación, cuyo tamaño se calcula basándose en la velocidad estimada del flujo horizontal del agua subterránea en el acuífero.

En algunos casos los acuíferos se encuentran protegidos naturalmente contra la contaminación de su agua subterránea por la zona no saturada o las capas impermeables ubicadas sobre ellos.

El grado de protección contra un determinado contaminante varía según el tipo de perfil del suelo y el material de cobertura del acuífero. También varía considerablemente según el tipo y modo de descarga del contaminante.

El objetivo de las áreas especiales de protección (SPAs) es dar un elemento adicional de protección para captaciones de aguas subterráneas (pozos o aljibes). Esto se logra implantando controles estrictos a las actividades que se realizan dentro de parte o toda su área de recarga.

Es importante destacar que las áreas de protección no son tan apropiadas en los acuíferos sobreexplotadas ya que estos tienden a interactuar y combinarse.

En efecto, se necesita proteger toda el área de recarga.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Determinar las zonas de protección de los aljibes, en la cuenca del Río Subachoque.

1.1.2 Objetivos específicos

- Actualizar el inventario de puntos de agua (pozos y aljibes) que se desarrolló como parte de la pasantía realizada en la CAR, para la Sabana de Bogotá, incluyendo la Cuenca del Río Subachoque.
- Desarrollar el balance hídrico para determinar volúmenes de flujo base o subterráneo que están aportando los acuíferos a la Cuenca del Río Subachoque.
- Evaluar los estudios realizados sobre la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, en la Cuenca del Río Subachoque.

- Definir según la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas, las zonas de protección de las captaciones, teniendo en cuenta el modelo hidrogeológico conceptual de la Cuenca del Río Subachoque.
- Formular las recomendaciones, basándonos en los resultados que se obtengan en el desarrollo del trabajo.

1.2 ANTECEDENTES

Los estudios que hasta el momento se han elaborado sobre la cuenca del Río Subachoque, han tratado básicamente en estudios geológicos e hidrogeológicos dentro de los cuales están:

- El Ministerio de Minas y Energía (Colombia) y Ministerio de Minas, Petróleo y Geología (Rumania), realizaron un trabajo donde se estudio la estratigrafía de la formación Guadalupe y se hace prospección para carbón en el área de Subachoque, año 1978.
Mapa del Neógeno Cuaternario de la Sabana de Bogotá.
- INGEOMINAS en convenio con la CAR, llevo a cabo el inventario de datos hidrogeológicos de la parte centro occidental de la Sabana de Bogotá, año 1985.

- La CAR a través de la firma PIDELTA LTDA, realizo estudios básicos para la elaboración del “Plan Integral de Manejo y Ordenamiento de la Cuenca del Río Subachoque” , año 1986.
- En convenios interinstitucional CAR e INGEOMINAS para la organización del grupo de aguas subterráneas y el conocimiento hidrogeológico integral de la Sabana de Bogotá y por medio de este convenio se ejecuto el proyecto “estudio hidrogeológico cuantitativo de la Sabana de Bogotá”, que para la cuenca del Río Subachoque se culmino en 1991. Los objetivos de este estudio fueron la evaluación hidrogeológica integral, la cuantificación de la disponibilidad del agua subterránea y al análisis de la calidad del agua.
- La CAR por intermedio de la firma LOBO GUERRERO GEOLOGÍA LTDA. Diseño la red de monitoreo de aguas subterráneas de la Sabana de Bogotá, con 64 pozos en la cuenca del Río Subachoque. Año 1998.
- La CAR efectuó el proyecto “Determinación de la Calidad del Agua Subterránea de la Sabana de Bogotá e Identificación de puntos de contaminación”, en donde se realizo un análisis bacteriológico, fisicoquímico y de plaguicidas en diferentes puntos de muestreo, de los cuales 11 se encuentran ubicados en la cuenca del Río Subachoque. Año enero del 2000.
- La CAR en convenio con la UNIVERSIDAD DE LA SALLE, desarrollo un estudio realizado por Adriana Rodríguez Barrera; fue denominado “Evaluación Hidrogeológica para Determinar la Vulnerabilidad a la Contaminación de los acuíferos del cuaternario en la Cuenca del Río Subachoque” , el cual sirvió como proyecto de grado. Año 2000. Donde se concluyó que en la Cuenca del Río Subachoque, la mayor parte del área tiene valores de índice de

vulnerabilidad moderada; las zonas de baja vulnerabilidad aparecen en la parte sur y extrema de los depósitos cuaternarios, y los valores de vulnerabilidad despreciables aparecen dispersos en el área media de la cuenca; las zonas de alta vulnerabilidad, corresponden a la zonas de recarga que se encuentran ubicadas hacia los flancos de la estructura sinclinal.

- De otro lado, existen numerosos estudios geoelectrónicos locales efectuados por consultores particulares en fincas del área, con el fin de localizar sitios para perforar pozos y obtener aguas subterráneas para consumo humano y riego. Dicha información se encuentra recopilada en los expedientes de aguas subterráneas de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).

1.3 METODOLOGÍA

Para cumplir los objetivos del proyecto se planificaron las siguientes actividades:

Recopilación, análisis y procesamiento de la información existente (mapas temáticos, cartografía básica, estudios hidrogeológicos geográficos y de exploración y evaluación de aguas subterráneas) de la cuenca del Río Subachoque.

Se realizó un balance hídrico en base a los datos de las estaciones meteorológicas y limnigráficas de la CAR e IDEAM, que se encuentran ubicadas en la cuenca del Río Subachoque.

Se seleccionó dentro del inventario de aljibes, aquellos que nos suministraron la mayor cantidad de información para la realización del estudio. Estos datos requeridos para el proyecto se refieren a información de columnas litológicas, variables hidráulicas, geomorfología, acuíferos aprovechados y caudales extraídos. Posteriormente se ubicaron los aljibes seleccionados en las respectivas planchas cartográficas.

Se identificó en campo los usos del suelo y se determinó las causas primarias de la contaminación al interior del área y posteriormente se realizó el análisis secundario sobre la información.

Teniendo como base los principales usos del suelo y las diversas actividades que se llevan a cabo en el mismo, se evaluó la vulnerabilidad que tienen los acuíferos de una potencial contaminación, frente a dichos usos y actividades.

Se definieron las zonas de protección de las aguas subterráneas, aplicando los diferentes métodos desarrollados por agencias ambientales, mediante el uso de programas computarizados.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 LOCALIZACIÓN

La cuenca Hidrográfica del Río Subachoque se encuentra localizada al occidente de la sabana de Bogota, departamento de Cundinamarca.

Comprende el municipio de Subachoque, el sector occidental del municipio de Facatativa, la mayor parte del municipio de Madrid y una pequeña parte del municipio de Mosquera.

Tiene una extensión de 400,86 km². La zona se encuentra localizada en las planchas 208 IV D, 227 II A,C,D y 227 IV A del IGAC, a escala 1:25.000.

Toda el área de la cuenca se encuentra bajo la jurisdicción de la CAR.
(Ver plano 1)

3. HIDROGEOLOGÍA GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 SUELOS

Las características generales de los suelos encontrados en la cuenca del Río Subachoque son las siguientes:

- Serie Monserrate (MS)

Se presenta localmente en la serranía Tenjo – Tabio y en las zonas altas al Norte y Occidente de La Pradera en forma de capas orgánicas de poco espesor. Es una serie poco abundante puesto que sobre las zonas escarpadas del Grupo donde se han formando abanicos. Son suelos provenientes de cenizas volcánicas.

- Asociación Tibaitata – Zipaquirá – Corzo (TZ)

Se localiza en el área plana desde la localidad de Subachoque hasta el sur del área de la cuenca. Se desarrollaron sobre sedimentos cuaternarios arcillosos (serie tibaitata) y arenosos (serie Corzo).

3.1.1 Geología

3.1.1.1 Geografía Física

En la cuenca del Río Subachoque se presenta tres zonas morfológicas bien definidas.

- Zona Plana

Esta constituida por depósitos recientes, sedimentos lacustres y depósitos aluviales que forman un valle intramontano, plano y de gran extensión denominado Sabana de Bogota.

- Zona Montañosa

Esta conformada por relieve abrupto, de pendientes fuertes, donde afloran rocas sedimentarias de gran dureza y potencia, con orientación preferencial noreste y elevaciones entre 2560 y 3650 m.s.n.m.

- Zona de Colinas Suaves

La ultima zona corresponde a pequeñas serranías con relieves redondeados formados por material muy fino y de menor competencia, ubicadas en el piedemonte de los cerros.

Algunos rasgos topográficos sobresalientes son: Cerro de Peña Colorado, Cerro El Pedregoso, Lomas El Gavilán, Cerro Camacho, Cerro El Galeano, Pantano de Arce, Serranía La Piñuela, Páramo de Peña Negra, Serranía El Tablazo, Alto de Barroblanco, Cerro Juarica, Alto de Piedra Blanca.

3.1.1.2 Estratigrafía

La Cuenca del Río Subachoque se encuentra ubicada en la parte central de la Cordillera de Los Andes Colombianos, sector noroccidental de la Sabana de Bogotá.

En el área aflora una secuencia cretacea depositada en un ambiente marino, infrayaciendo discordantemente a una sucesión terciaria depositada en ambientes de transición y continental; sobre estas rocas reposan discordantemente depósitos cuaternarios que constituyen el relleno de la Sabana de Bogota.

Las formaciones depositadas a finales del cretaceo y comienzos del terciario se encuentran afectadas por estructuras generadas por una etapa orogénica que actuó posteriormente a la sedimentación de las mismas.

En la zona afloran las siguientes unidades estratigráficas de más joven a la más antigua así:

3.1.1.2.1 Depósitos Cuaternarios (Q)

- Formación Tilatá (QTt)

Esta formación consta generalmente de gravas y arenas con intercalaciones de arcillas y turba.

- Depósitos de Terraza Alta (Qta)

Secuencia sedimentaria dispuesta a manera de terrazas, que afloran en el valle del Río Subachoque. El conjunto está compuesto por lentes gruesos de gravas, cantos angulares, a veces redondeados, alternando con arcillas y limos de color rosado, café claro, amarillo y verde.

El contacto inferior con la Formación Bogotá es discordante. La parte superior se encuentra cubierta por suelos generalmente húmicos. El máximo espesor observado en el área fue de 15m, sobre la carretera Subachoque – La Pradera.

- Depósitos Coluviales (Qc)

Numerosos depósitos de origen coluvial se encuentran en el área de estudio, en la vereda Guamal al norte de La Pradera, donde se observan depósitos compuestos por grandes bloques, cantos y gravas en una matriz areno lodosa.

Depósitos coluviales de menor proporción se encuentran en la Hacienda Campo Hermoso y parte media de la Quebrada del Socorro al suroeste de La Pradera.

- Depósitos Aluviales (Qal)

El principal depósito aluvial lo constituyen las gravas y arenas del Río Subachoque. Pequeños depósitos areno lodosos se forman en el curso de numerosas quebradas y arroyos afluentes del Río Subachoque.

3.1.1.2.2 Depósitos Terciarios (T)

- Formación Bogotá (Tebi - Tebs)

Representa una secuencia litológica conformada por lodolitas y limolitas abigarradas, con intercalaciones de areniscas de 5 a 20m de espesor.

En la cuenca del Río Subachoque la formación está expuesta en las veredas El Centro, El Valle, Tibagotá, La Hondura, Chinga Frío y sobre los Caminos del Oso, Buenavista, Las Carboneras y continúa hasta cerca de la Inspección de Policía El Rosal, donde se encuentra en contacto fallado con la Formación Guaduas y en el valle del Río Subachoque formando parte del sinclinal de Subachoque.

Esta formación ha sido cartografiada en dos conjuntos: uno inferior compuesto por una secuencia alternante de areniscas y lodolitas y uno superior donde predominan las lodolitas.

- ❖ Conjunto Inferior (Tebi): Se encuentra en contacto fallado con la Formación Guaduas, es una sucesión alternante de areniscas subarcóicas, de grano fino a grueso, con regular a mala selección, en capas lenticulares a muy gruesas (0.3 a 5m de espesor), colores rojizos, grises y verdosos, algunos niveles presentan bioturbación y material vegetal carbonizado. Estos estratos de areniscas alternan con niveles de lodolitas y arcillolitas grises con moteado de hierro que alcanzan hasta 10m de espesor.

El contacto de éste nivel inferior con el superior es transicional y está definido por la aparición de la última arenisca importante de 3m de espesor.

- ❖ Conjunto Superior (TebS): Secuencia que consta de lodolitas grises, con moteado de color rojo y esporádicos niveles de areniscas verdosas, subarcóicas, de grano fino a medio, mal seleccionadas, en capas hasta de 2m

de espesor. Esa sucesión se puede observar en las cabeceras de las quebradas que desembocan al Río Subachoque.

La Formación Bogotá en el valle del Río Subachoque se encuentra invertida al Oeste y parcialmente invertida al Este del Río.

- Formación Guaduas (Tkgu)

La formación está compuesta por arcillolitas rojas, con mantos de carbón explotables en su parte media; delimitada claramente en la Sabana de Bogotá entre el Grupo Guadalupe en parte inferior y el Conjunto Inferior de la Formación Bogotá en su parte superior.

La formación aflora en el valle del Río Subachoque formando parte de un sinclinal; en las veredas La Hondura y Cuatro Esquinas, Alto Barroblanco, en ambos flancos de la serranía de Tenjo – Tabio, en estas localidades, la unidad no se presenta completa pues sus contactos son fallados con unidades del Grupo Guadalupe, Formación Bogotá y Depósitos de Terraza Alta.

En la vereda El Valle la Formación Guaduas está constituida principalmente por una sucesión monótona de lodolitas grises; cerca al contacto con la formación Bogotá presenta esporádicas intercalaciones de capas cuarzoarenitas muy gruesas, hasta de 3m de espesor, con matriz arcillosa menor de 5%, de grano fino a medio, bien seleccionad, con laminación interna plana no paralela; en este sector se observan mantos de carbón con espesores entre 0,5 y 0,7m.

En el valle del Río Subachoque, en el flanco occidental de la serranía de Tenjo – Tabio, la unidad está compuesta por una secuencia de lodolitas grises que meteorizan a rojo, las cuales presentan intercalaciones de cuarzo arenitas

blancas, con matriz arcillosa hasta 5%, estos niveles presentan geometría lenticular y estratificación delgada a gruesa, de grano fino a medio, laminación interna cruzada; en algunas capas se observan ondulitas y bioturbación. Interestratificada con las lodolitas se presentan mantos de carbón de hasta 0,5m de espesor, no explotados. En esta parte del valle pueden aflorar 400m de la secuencia total de la unidad.

Es espesor total de la formación varía entre 650 y 750m.

3.1.1.2.3 Depósitos Cretácicos (K)

- Grupo Guadalupe (Kgl – Kgpl – Kgd)

Este grupo es generalmente arenoso con intercalaciones de liditas, limolitas silíceas y arcillolitas y ha sido subdividido de base al techo en las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Labor y Tierna.

- ❖ Formación Labor y Tierna (kgl): Sucesión continua de capas de areniscas, ubicada en la parte superior del Grupo Guadalupe y delimitada en su base por la Formación Plaeners y en su techo por la Formación Guaduas.

Dentro del área, esta unidad aparece expuesta en la vereda Moyano; Alto de Barroblanco en contacto fallado con la Formación Guaduas; en el flanco oriental del anticlinal de Madrid; en el alto Piedra Blanca haciendo parte de un anticlinal con flanco oriental invertido, en contacto fallado con la Formación

Guaduas. En el páramo de Agua Blanca aparece expuesta ampliamente a manera de superficie estructural.

En la ladera oriental de la serranía El Tablazo, como parte de un pequeño cierre sinclinal.

Consta de una sucesión monótona de areniscas de cuarzo de grano medio a fino, de color amarillo claro a blanco, se presenta en bancos gruesos a muy gruesos.

Son areniscas friables, con estratificación cruzada, abundancia de foraminíferos e ichnofósiles como *Thalassinoides* sp y *Arenicolites* sp; algunos niveles están intercalados con bancos finamente estratificados de areniscas de grano fino y lodolitas laminadas silíceas con estratificación ondulada a lenticular; altamente bioturbadas.

En la región El Tablazo está compuesta solamente de capas gruesas a muy gruesas de areniscas de cuarzo, de grano fino a medio, muy compactas. En el Rincón del Oso presenta intercalaciones de limolitas y areniscas lodosas friables con morfología suave y en la vereda Rincón Santo está representada por dos niveles de areniscas, en capas gruesas a muy gruesas separadas por un nivel blando, con morfología suave.

El límite inferior de la unidad es concordante y se ha definido en el cambio litológico entre las arcillolitas que componen la parte superior de la Formación Plaeners y los niveles de areniscas de la Formación Labor y Tierna.

El espesor de la secuencia aflorante se calcula en 100m.

- ❖ Formación Plaeners (Kgpl): Nivel intermediario del Grupo Guadalupe, ubicado estratigráficamente entre la formación Arenisca Dura y la Formación Labor y Tierna. En el área estudiada aparece en la serranía de Tenjo – Tabio con un espesor de 120m, en el cerro Cuadrado, haciendo parte de la estructura anticlinal; en la serranía de Barroblanco donde se encuentra muy replegada y en el anticlinal de Madrid.

La unidad está conformada por una secuencia de liditas, limolitas síliceas, lodolitas y areniscas. Las liditas son de color gris oscuro que meteorizan a amarillo oscuro, finamente estratificadas, laminación interna plana paralela a ondulada paralela, partición romboidal; fractura concoidea y rica en foraminíferos bentónicos del género siphogenerinoides sp.

La base de la unidad muestra ritmos alternantes de arcillolita blanca intercaladas con liditas gris, en capas delgadas de unos 3cm de espesor que reposan concordantemente sobre la Formación Arenisca Dura en contacto transicional.

Se ha medido su espesor de 140m en el páramo de Agua Blanca.

- ❖ Formación Arenisca Dura (kgd): Parte inferior del Grupo Guadalupe, ubicado estratigráficamente entre niveles de lodolitas negras laminadas de la Formación Conejo y liditas de la Formación Plaeners.

En el área, la Formación se presenta en la serranía de Tenjo – Tabio aflorando en las veredas Canica, Carrón y La Cuesta, donde su contacto superior es normal con la Formación Plaeners y el inferior es fallado. También aflora en las veredas Santuario y El Abra con contactos tanto inferior como superior fallados.

La base de la unidad se toma cuando terminan las lodolitas negras y limolitas grises y predominan los niveles de areniscas macizas, con colores gris oscuro en la base el cual se aclara hacia el techo, de grano muy fino, con cemento silíceo; presenta alto grado de consolidación y laminación plana paralela continua, en bancos de hasta 8m de espesor; algunos niveles son ricos en pellets fosfáticos.

Intercalados con estas areniscas se presenta bancos de tamaños medios a finos de limolitas laminadas y schale lodoso gris; esporádicos paquetes de liditas de color gris claro.

Su contacto inferior es transicional y se traza en la arenisca más significativa sobre los niveles de lodolitas negras.

- Grupo Chipaque (Kscn)
- ❖ Formación Conejo (Kscn): conjunto de shales grises con intercalaciones de calizas y areniscas lodosas.
Su expresión morfológica típica son colinas suaves y depresiones. La base de la unidad está conformada por lodolitas negras muy físciles, alternando con capas de lodolitas negras localmente silíceas, de 20 a 90cm; presentan laminación plana paralela discontinua, fracturamiento y relleno de fracturas con óxidos de hierro. Hacia la parte superior se encuentran areniscas arcillosas y areniscas de cuarzo de grano fino, muy cementada, lodolitas calcáreas y calizas micríticas intercaladas con lodolitas negras físciles.

El techo de la unidad puede observarse al oriente de La Pradera, en la carretera La Pradera – Tabio, conformado por lodolitas negras físciles y limolitas grises y moradas en capas delgadas, infrayaciendo capas gruesas (1.5m) de

areniscas de cuarzo, grano fino muy cementadas de la Formación Arenisca Dura.

3.2 USOS DEL SUELO

- Cultivos Permanentes (Flores bajo cubierta)

Cubren una extensión de 1767 Ha. Que representan el 4,7% del área de la cuenca y se encuentran ubicados principalmente en la parte baja de la cuenca.

Corresponden a los cultivos de flores bajo cubiertas plásticas, ubicados en las partes planas. Estos cultivos causan efectos negativos al suelo por el uso de gran cantidad de productos químicos altamente contaminantes para el control de plagas y enfermedades. Son a su vez grandes consumidores de agua, la que se obtiene principalmente del subsuelo y de depósitos que recogen el agua lluvia.

- Cultivos Anuales Limpios o Transitorios

Cubren un área de 4644 Ha. Que corresponden al 12.5% del área de la cuenca y se encuentran distribuidos en toda su área, en muchos casos sobre terrenos cuyas características de pendiente y profundidad del suelo no son las apropiadas para esta clase de uso.

Los principales cultivos son la papa en la parte alta, las hortalizas en la zona media y baja de la cuenca, la cebada, avena, arveja, haba, frijol principalmente en las partes altas y media.

- Galpones

Existen 249 Ha. Con galpones para la cría de aves, ubicados en su mayoría en la parte baja. Esta actividad demanda permanentemente consumo del agua, en su mayoría obtenida de las corrientes de aguas de uso público (agua superficial – agua subterránea).

- **Áreas Degradadas por Acción Antrópica y por Factores Climáticos**

Existe un total de 780 Ha. Que corresponden al 2% de área de la cuenca, totalmente degradadas de las cuales 698 Ha, el 1.8% del área, fueron afectadas por la acción del hombre en el desarrollo de actividades tales como canteras y actividades agropecuarias en zonas cuyas características topográficas y de clase de suelo no son apropiadas.

Estas áreas se encuentran ubicadas principalmente en las partes altas o divisoria de aguas de la cuenca en donde requiere necesariamente declararlas como zonas de manejo especial, excluyendo toda actividad humana.

- **Áreas Urbanas**

Cubren una extensión de 64 Ha. Que corresponden a las zonas urbanas o suburbanas, principalmente a los centros poblados de Subachoque, La Pradera, El Rosal y Madrid.

Son áreas en las cuales se requiere el uso del agua para los acueductos y en consecuencias constituyen la primera prioridad para el reparto de los caudales de las corrientes de uso público que las abastece.

Se estima que en la cuenca existe un crecimiento desmedido del urbanismo para vivienda e industria, ocupando áreas que por las características de los suelos son de vocación agropecuaria.

Otros usos del suelo en la Cuenca del Río Subachoque son el Bosque Natural Primario, Bosque Natural Secundario o degradado, Plantaciones de Coníferas, Plantaciones de Frondosas, Rastrojos altos y bajos, Pastos Naturales y Pastos Mejorados.

3.3 HIDROGEOLOGÍA

En la zona de estudio se presentan dos áreas bien diferenciadas, una plana que ocupa el 70% del área con aproximadamente 275 Km², constituida principalmente por los acuíferos de los Depósitos de Terraza Alta (Qta), Aluviones (Qal) miembro Inferior de la Formación Bogotá (Tebi) y Formación Tilatá (QTt), además los Coluviones (Qc) y el Miembro Superior de la Formación Bogotá (Tebs), conformando un valle intramontano con una pendiente suave de dirección noreste – suroeste. La segunda es montañosa, ocupa 30% y tiene 125km², caracterizada por relieves abruptos y fuertes pendientes donde afloran los acuíferos de la Formación Guaduas, Grupo Guadalupe y la Formación Conejo.

El área montañosa está conformada por dos serranías con dirección noreste – suroeste, una la de Tabio – Tenjo al este de la cuenca y la otra la de Subachoque – la Pradera, localizada al oeste.

El Río Subachoque principal fuente de agua superficial, es de tipo perenne y corre con dirección noreste – suroeste.

3.3.1 Unidades Hidrogeológicas

Con base a la litología, el grado de fracturamiento, la conductividad hidráulica y la producción de los pozos, se clasifican las formaciones geológicas en las siguientes unidades hidrogeológicas:

- Sedimentos no Consolidados y Rocas Porosas con grande a poca importancia hidrogeológica.

Corresponden a esta unidad hidrogeológica los acuíferos de la Formación Tilatá (QTt), Depósitos de Terraza Alta (Qta), Miembro Inferior de la Formación Bogotá (Tebi) y Depósitos Aluviales (Qal), de los cuales se hace parte a continuación una descripción de sus principales características.

- ❖ Acuífero Formación Tilatá (QTt): Este acuífero de edad Terciario Superior – Cuaternario Inferior correspondiente a la Formación Tilatá. Se considera de extensión local por estar restringido solamente al sector centro – occidental del área. Es de tipo confinado a libre y está conformado por gravas y arenas con intercalaciones de arcilla y turba. Es de origen continental, su conductividad hidráulica varía entre 0.007 y 8.7 m/día y su resistividad varía entre 20 y 70 ohm.m.

Este acuífero aflora al sur – occidente de Subachoque con un rumbo general noreste y forma parte del área plana de este sector. Tiene un espesor aproximado de 200m y es posible captarlo tanto en el área donde aflora como en la parte central del valle al sureste de Subachoque, a profundidades de 100m al norte y 300m al sur aproximadamente.

El área de recarga se limita al suroccidente de Subachoque donde aflora y permite la infiltración de aguas lluvias. Posiblemente este acuífero es recargado por el acuífero Deposito de Terraza Alta que lo suprayace.

La descarga se realiza a través de 27 pozos y 1 manantial. El flujo subterráneo de acuerdo a la localización del acuífero sería de oeste al centro del valle y de allí hacia el sur.

La calidad físico – química del agua se considera buena, apta para consumo humano y riego.

- ❖ Acuífero Depósitos de Terraza Alta (Qta): El acuífero Depósitos de Terraza Alta, de edad cuaternaria. Es de poca a moderada importancia hidrogeológica y está conformado por capas permeables y semipermeables dispuestas horizontalmente y de extensión regional. Es de tipo confinado, semiconfinado y libre, constituido por intercalaciones de arcilla, arenas y gravas de origen continental, producto de la erosión y transporte de rocas clásticas de las serranías adyacentes. Tiene una conductividad hidráulica entre 0,24 y 3.6 m/día y su resistividad entre 30 y 200 ohm.m.

El acuífero se extiende a lo largo de la zona plana de la cuenca y tiene un espesor hasta de 250m. En el área de Subachoque el espesor aumenta desde los bordes hacia en centro del valle. Al suroeste de la cuenca se nota una disminución de espesores desde los bordes hacia el centro. La recarga del acuífero se debe a la infiltración de agua precipitada en el área plana y de parte de la que escurre de las serranías adyacentes.

La descarga se realiza a través de 311 pozos que se encuentran funcionando de los 429 que hay perforados los cuales se distribuyen a lo largo de la zona plana principalmente en el área comprendida entre Subachoque y Madrid.

El flujo subterráneo, en general en este acuífero, es desde los bordes de la cuenca hacia la zona más baja del valle donde toma una dirección noreste – suroeste.

El agua en general es apta para riego y es de buena calidad para consumo humano con excepción del contenido de hierro y a que tiene concentraciones de 0 a 9 miligramos / litro.

- ❖ Acuífero Conjunto Inferior de la Formación Bogotá (Tebi): El acuífero Conjunto Inferior de la Formación Bogotá, de edad Terciaria. Es de poca importancia hidrogeológica y esta conformado por capas semipermeables de extensión local. Es de tipo confinado a libre, constituido por una sucesión alternante de areniscas sub-arcósicas y lodolitas grises de origen continental y tiene una conductividad hidráulica de unos 0.16 m /día. Su resistividad varía de 20 a 70 ohm.m.

El acuífero se presenta principalmente en una franja norte-sur de La Pradera donde tiene un espesor de 70m y suprayace a la Formación Guaduas.

La recarga del acuífero proviene fundamentalmente de la infiltración de aguas lluvias y del escurrimiento del agua precipitada en la serranía Tenjo – Tabio.

La descarga se realiza a través de 3 pozos.

El agua en general es de buena calidad para consumo humano y para riego.

- ❖ Acuífero Depósitos Aluviales (Qal): El acuífero Depósitos Aluviales de edad Cuaternaria, es de poca importancia hidrogeológica y está conformado por capas permeables y semipermeables dispuestas horizontalmente y de

extensión local. Es de tipo libre y está constituido por gravas, arenas, limos y arcillas depositadas por el Río Subachoque y afluentes, de origen continental, producto de la erosión y transporte de las rocas y sedimentos adyacentes. Tiene conductividad hidráulica baja a media y su resistividad varía de 30 a 100 ohm.m.

El acuífero se extiende en los márgenes del Río Subachoque y sus afluentes y tiene un espesor entre 6 y 37m.

La recarga del acuífero se realiza a través del flujo del Río Subachoque y sus afluentes y a la infiltración del agua precipitada. La descarga se realiza a través de aljibes.

El agua en general es de buena calidad para consumo humano y para riego.

- Rocas Fracturadas / porosas con gran a poca importancia hidrogeológica
En orden de mayor a menor importancia corresponden a esta unidad hidrogeológica los acuíferos de las formaciones Arenisca Dura, Labor y Tierna, Guaduas y Plaeners de las cuales se hace a continuación una descripción de sus principales características.
- ❖ Acuífero Formación Arenisca Dura (Kgd): Este acuífero de edad cretácica pertenece al Grupo Guadalupe y es de gran importancia hidrogeológica. Se considera de extensión local por estar restringido a zonas fracturadas. Es de tipo confinado y está conformado por areniscas masivas de grano muy fino, cemento silíceo muy consolidadas. Es de origen marino y presenta en el área un alto grado de fracturamiento en aquellas zonas afectadas por intenso tectonismo en ambas serranías. Su conductividad hidráulica es alta, unos 10m/día y su resistividad es mayor a 100 ohm.m.

Este acuífero aflora principalmente a todo lo largo de la serranía Tenjo – Tabio y en la serranía Subachoque – La Pradera al occidente de La Pradera, conformando un relieve abrupto debido a su gran resistencia a la erosión. Tiene un espesor de 300m.

La recarga se debe a la precipitación en la zona de alta fracturación en las serranías donde aflora y la descarga se realiza a través de 4 pozos y 4 manantiales. El flujo subterráneo regional de acuerdo a la estructura del acuífero es desde la serranía Tabio – Tenjo hacia la zona plana y allí toma dirección de noreste a suroeste.

La calidad físico - química del agua es buena, apta para riego y para consumo humano a excepción del hierro en concentraciones de 0.14 a 5.6 miligramos / litro.

- ❖ Acuífero Labor y Tierna (Kgt): Este acuífero de edad cretácica pertenece al Grupo Guadalupe, es de poca a gran importancia hidrogeológica. Se considera de extensión local, es de tipo confinado y está conformado por una sucesión monótona de areniscas de cuarzo de grano medio a fino en bancos gruesos con abundancia de foraminíferos, friables, con intercalaciones de areniscas de grano muy fino, lodolitas laminadas silíceas, arenitas lodosas friables y limolitas compactas. Su conductividad hidráulica varía entre 0.42 y 5.1 m/día y su resistividad es mayor a 100 ohm.m.

Es de origen marino y presenta un alto grado de fracturamiento. Este acuífero aflora principalmente en la serranía Tenjo – Tabio al este de la Pradera y localmente en la serranía Subachoque – La Pradera y en la

vereda Cuatro Esquinas en el Alto de Cerroblanco. Tiene un espesor de 100 m.

El área de recarga corresponde a las mismas áreas donde aflora y la descarga ocurre a través de 20 pozos y 5 manantiales. El flujo subterráneo regional se asume desde las serranías donde afloran hacia la zona plana de la cuenca.

- ❖ Acuífero Formación Guaduas (Tkgu): Acuífero de poca importancia hidrogeológica. Su símbolo significa que su parte inferior es de edad cretácica y la superior del terciario.

Es un acuífero regional, limitado a las capas arenosas del Miembro Medio. De tipo confinado y semiconfinado, conformado por bancos espesos de arcillolitas con niveles de areniscas o lodolitas intercaladas con cuarzoarenitas y mantos de carbón. Es de origen transicional, su conductividad hidráulica es de unos 0,7 m/día y su resistividad varía de 10 a 20 ohm.m.

Aflora en las serranías de Tenjo – Tabio y Subachoque – La Pradera conformando relieves suaves en forma de pequeñas colinas con cimas redondeadas debido a su baja resistencia a la erosión por su carácter arcilloso. Tiene un espesor de 650 a 740m.

El área de recarga corresponde a los afloramientos de las areniscas y a las zonas fracturadas. En profundidad puede ser recargada principalmente por los acuíferos del Grupo Guadalupe y la descarga se produce a través de 17 pozos.

La calidad del agua es buena, apta para riego y para consumo humano a excepción del hierro que llega hasta concentraciones de 1.5 miligramos / litro.

- ❖ Acuífero Formación Plaeners (Kgpl): Acuífero de poca importancia hidrogeológica. De origen marino y edad cretácica, es acuífero local, restringido a zonas fracturadas, de tipo confinado y semiconfinado, conformado por una secuencia alternante de lilitas con limolitas silíceas, lodolitas y areniscas. Presenta un alto grado de fracturamiento en áreas afectadas por intenso tectonismo. Tiene conductividad hidráulica baja y su resistividad varía de 70 a 100 ohm.m.

Aflora en las serranías de Tenjo - Tabio y Subachoque – La Pradera conformando relieves moderados a suaves. Tiene un espesor de 140m.

El área de recarga se limita a las zonas fracturadas de sus afloramientos y en profundidad puede ser recargado por los acuíferos de la Formaciones Arenisca Dura y labor y Tierna. La descarga se realiza a través de un pozo. El flujo natural regional se asume desde las serranías donde aflora hacia la zona plana de la cuenca.

La calidad del agua es buena, apta para riego y para consumo humano a excepción del hierro que tiene concentraciones hasta de 3 miligramos / litro.

- Sedimentos y Rocas Porosas / Fracturadas sin importancia hidrogeológica
Corresponden a esta unidad hidrogeológica la Formación Conejo, los coluviones y el conjunto superior de la Formación Bogotá.

- ❖ Formación Conejo (Kscn): La Formación Conejo carece de importancia hidrogeológica debido a su carácter impermeable, además solo se encuentra aflorando al noreste del área en forma muy local. De origen marino y edad cretácica. Esta conformada por un conjunto de shales interestratificado con

calizas; alternancia de lodolitas fisiles y lodolitas silíceas; areniscas lodosas y areniscas de cuarzo micríticas intercaladas con lodolitas fisiles. No se conoce su espesor.

- ❖ Coluviones (Qc): Los Coluviones carecen de importancia hidrogeológica por su carácter impermeable, además de su reducido espesor y porque se encuentran expuestos en forma aislada al norte de Subachoque. De origen continental y edad cuaternaria. Está conformado por bloques, cantos y gravas en matriz areno lodosa.

- ❖ Conjunto superior de la Formación Bogotá (Teb): Carece de importancia hidrogeológica por su carácter impermeable. De edad Terciaria. Esta conformado por capas impermeables de extensión local constituido por lodolitas con esporádicos niveles de areniscas de grano fino a medio, mal seleccionadas, de origen continental y su resistividad varía de 10 a 20 ohm.m Aflora desde el Rosal a La Pradera en la serranía de Subachoque – La Pradera y tiene un espesor de 500m.

3.4 HIDROLOGÍA

El Río Subachoque nace al norte de la localidad de La Pradera, en la serranía La Piñuela a una altura de 3400 m.s.n.m. aproximadamente.

A partir de allí su curso tiene dirección sureste y se une con el Río Bojacá tomando el nombre de Río Balsillas el cuál desembocará en el Río Bogotá.

Su área de drenaje es de 37.627 Ha. Entre sus principales afluentes están las quebradas La Reserva, Angostura, Paramillo, La Chorrera, Hierbabuena y El Chircal.

El estudio hidrológico comprendió el análisis climático, el análisis de caudales y el balance hídrico del área para determinar volúmenes de flujo base o subterráneo que están aportando los acuíferos durante el año.

3.4.1 Análisis climático

El análisis climático de la cuenca del Río Subachoque se realizó basándose en las estaciones pluviométricas, pluviográficas, meteorológicas y climatológicas de la CAR y el IDEAM.

Tabla 1. Estaciones Pluviométricas y Climatológicas.

ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	MUNICIPIO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		ELEVACIÓN
				Latitud	Longitud	
Las Margaritas	2120071 22	PM	El Rosal	N 4 °50	W 74° 15	2606
La Unión	2120055 22	PM	El Rosal	N 4° 52	W 74° 15	2725
Tisquesusa	2120631 22	CP	Facatativa	N 4° 49	W 74° 19	2570
La Primavera	2120557 22	CP	Subachoque	N 4° 51	W 74°13	2590
La Pradera	2120044 22	PG	Subachoque	N 5° 00	W 74°08	2703
Tachi	2120596 01	ME	Subachoque	N 4° 57	W 74° 09	2650
El Roble	2120155 01	PM	Madrid	N 4° 48	W 74° 14	2560
El Bosque	2120845 22	LM	Subachoque	N 4° 49	W 74° 13	2569
Ventalarga	2120026 22	PG	Zipaquirá	N 5° 04	W 74° 03	3062

Tesoro	2120069 22	PM	Facatativa	N 4° 48	W 74° 19	2610
Sta. Isabel	2120176 22	PM	Tabio	N 4° 59	W 74° 04	2680
El Fute	2120166 22	PM	Soacha	N 4° 36	W 74° 17	2607
Santa Inés	2120136 22	PM	Tenjo	N 4° 49	W 74° 08	2550
El Hato	2120121 01	PM	Tenjo	N 4° 52	W 74° 09	2575
Bojacá	2120075 22	PM	Bojacá	N 4° 44	W 74° 20	2603
El Tibar	2120127 01	PM	Madrid	N 4° 49	W 74° 14	2550
El Corazón	2120107 01	PM	Facatativa	N 4° 52	W 74° 16	2580

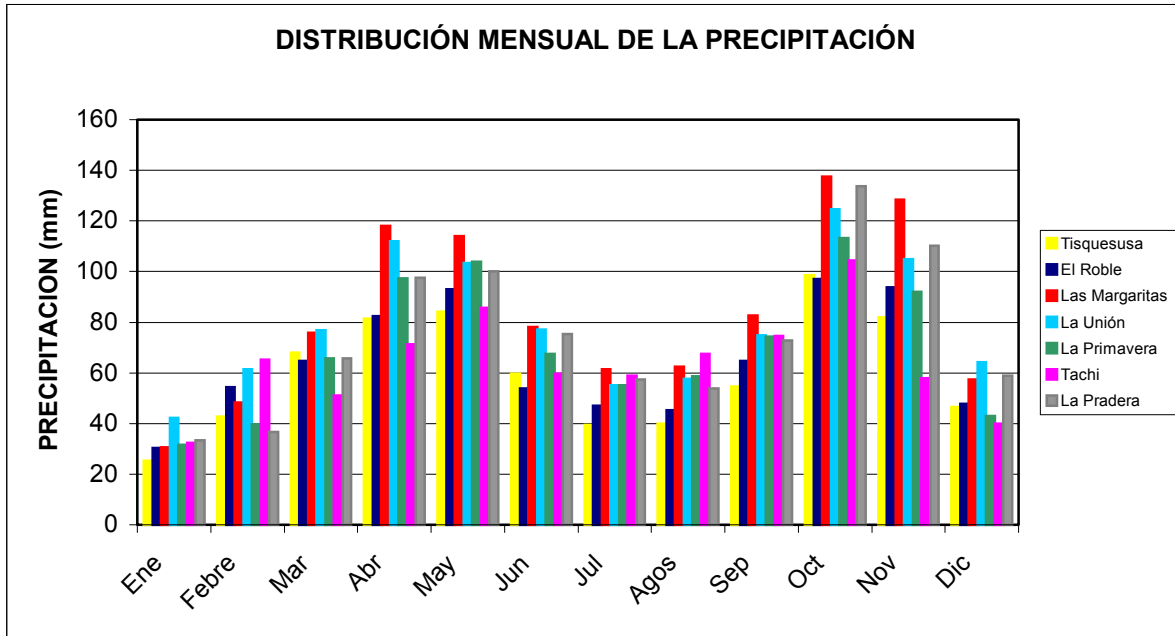
3.4.1.1 Precipitación

Para el análisis de la distribución temporal de la precipitación se utilizaron siete estaciones que se encuentran dentro del área de estudio las cuales registraron valores totales mensuales de precipitación, para el mismo periodo de años.

Tabla 2. Valores totales mensuales y anuales de precipitación

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Tisquesusa	25.3	42.7	67.9	81.5	84.1	59.7	39.4	39.9	54.7	98.5	81.9	46.5	722
El Roble	30.4	54.4	64.8	82.3	93.1	53.9	46.9	45.3	64.6	97.1	93.7	47.8	774.2
Las Margaritas	30.5	48.3	75.8	118.1	114.1	78	61.3	62.5	82.7	137.4	128.3	57.4	994.40
La Unión	42.3	61.4	76.9	112.1	103.5	77.2	55	57.7	74.7	124.7	105	64.1	954.6
La Primavera	31.5	39.7	65.8	97.2	103.8	67.6	55.1	58.7	74.4	113.2	92	42.9	789.90
Tachi	32.4	65.2	51	71.2	85.6	59.7	58.8	67.4	74.6	104.3	57.9	40	768.2
La Pradera	33.4	36.6	65.8	97.6	100.2	75.4	57.3	53.9	72.8	133.8	110.1	58.8	895.7

Como se observa en la gráfica, la distribución temporal de la precipitación es de tipo bimodal en toda la zona, con marcado descenso en el mes de enero. Los períodos húmedos se presentan en abril, mayo, octubre y noviembre. Los períodos secos se presentan entre julio - agosto y enero – febrero. El mayor valor total mensual corresponde al mes de octubre, a la estación Las Margaritas (137.4 mm), correspondiendo el menor valor total mensual al mes de enero, a la estación Tisquesusa (25.3 mm).



Gráfica 1. Distribución mensual de la precipitación.

Para la determinación de la precipitación media anual de la cuenca se utilizaron los siguientes métodos:

- Media Aritmética
- Polígonos de Thiessen
- Isoyetas
- Método Combinado (Polígonos de Thiessen e Isoyetas)
- Método de Distancia al Centroide

Los resultados que se obtuvieron aplicando cada uno de los métodos fueron:

- Media Aritmética: A partir de los datos registrados por las estaciones se halla el promedio ponderado anual.

Tabla 3. Media aritmética

	Estación	Precipitación (mm)
P1	Tisquesusa	722.00
P2	El Roble	774.20
P3	Las Margaritas	994.40
P4	La Unión	954.60
P5	La Primavera	789.90
P6	Tachi	768.20
P7	La Pradera	895.70
		P= 842.71

- Polígonos de Thiessen: Se numeran las estaciones y se unen mediante rectas, cada una con las más próxima. De cada segmento resultante, se traza su mediatriz. Las intersecciones de la mediatrices delimitan una serie de polígonos que representan las áreas de influencia de cada pluviómetro. Planimetrando estas áreas se obtuvo:

Tabla 4. Polígonos de Thiessen

	Estación	Precipitación mm	Superficie Km ²	Superficie %	P (mm)	
P1	Tisquesusa	722.00	67.94	16.95	0.17	122.37
P2	El Roble	774.20	27.54	6.87	0.07	53.19
P3	Las Margaritas	994.40	35.22	8.79	0.09	87.37
P4	La Unión	954.60	36.14	9.02	0.09	86.06
P5	La Primavera	789.90	59.5	14.84	0.15	117.25
P6	Tachi	768.20	96.30	24.02	0.24	184.55
P7	La Pradera	895.70	78.22	19.51	0.20	174.78
			400.86	100.00	1.00	P= 825.56

- Isoyetas

Para la elaboración de las isoyetas, utilizamos estaciones ubicadas alrededor y dentro de la cuenca del Río Subachoque, se utilizó un intervalo de 25 mm entre isoyetas y se tuvo en cuenta las curvas de nivel (Topografía), esto con el fin de

lograr un buen número de isoyetas y darle más exactitud al procedimiento. (ver anexo)

Las Isoyetas deben trazarse sobre un plano altimétrico a escala conveniente para poder considerar los efectos del relieve (Barlovento – Sotavento).

Una vez emplazadas las estaciones con su pluviometría correspondiente, se empieza por las que recogen más precipitación y se las engloba en un anillo.

Tabla 5. Isoyetas

Intervalo Isoyetas	Área entre Isoyetas (km ²)	Precipitación Media entre Isoyetas (mm)	Área * Precipitación
600 - 625	2.7	612.5	1653.75
625 - 650	11.51	637.5	7337.62
650 - 675	12.64	662.5	8374
675 - 700	13.96	687.5	9597.5
700 - 725	13.33	712.5	9497.62
725 - 750	10.13	737.5	7470.87
750 - 775	43.53	762.5	33191.62
775 - 800	42.46	787.5	33437.25
800 - 825	40.45	812.5	32865.62
825 - 850	50.51	837.5	42302.12
850 - 875	55.93	862.5	48239.62
875 - 900	29.06	887.5	25790.75
900 - 925	31.95	912.5	29154.37
925 - 950	20.38	937.5	19106.25
950 - 975	19.12	962.5	18403
975 - 1000	3.20	987.5	3851.25
	Σ 400.86		Σ 329582 mm * km²

Donde la Precipitación es igual a $329582 \text{ mm} \cdot \text{km}^2 / 400.86 \text{ km}^2$

$$P = 822.19 \text{ mm}$$

- Método Combinado (Polígonos de Thiessen e Isoyetas)

Para este método le antepusimos a los polígonos de Thiessen las Isoyetas, luego se obtuvieron las áreas de cada uno de los polígonos y cada una de estas las dividimos en el área de la cuenca.

Tabla 6. Método combinado

Estación - Polígono	Area Polígono (Ap) Km ²	$\alpha =$ Ap/Ac	Precipitación - Cg	Pcg * α
Tisquesusa	67.94	0.17	737.5	125
El Roble	27.54	0.07	787.5	54.10
Las Margaritas	35.22	0.09	962.5	84.57
La Unión	36.14	0.09	937.5	84.52
La Primavera	59.50	0.15	800	118.74
Tachi	96.30	0.24	775	186.18
La Pradera	78.22	0.20	887.5	173.18
	Σ 400.86 (Ac)			
				P = 826.29mm

- Método de Distancia al Centroide

Para este método se obtuvo el centro de gravedad de toda el área de la cuenca; luego se localizaron cada una de las estaciones y de allí se tomo la distancia de cada una de ellas al centro de gravedad de la cuenca.

Los resultados que arrojo este método se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 7. Distancia al centroide

Estaciones	Distancia al centroide (cm)	1 / D ²	P			
			α %	Precipitación (mm)	$\alpha * P$	
Tisquesusa	6	0.028	3.15	0.032	722	23.10
El Roble	4.6	0.047	5.28	0.053	774.2	41.03
Las Margaritas	3.5	0.082	9.21	0.092	994.4	91.48
La Unión	2.4	0.174	19.55	0.196	954.6	187.1
La Primavera	1.5	0.444	49.89	0.499	789.9	394.16
Tachi	5.6	0.032	3.60	0.036	768.2	27.65
La Pradera	3.5	0.082	9.21	0.092	895.7	82.40
		Σ 0.888				

$$P = 846.92\text{mm}$$

El valor de α se obtuvo multiplicando cada dato de $1/D^2$ por 100 y este valor dividido por la sumatoria 0.888.

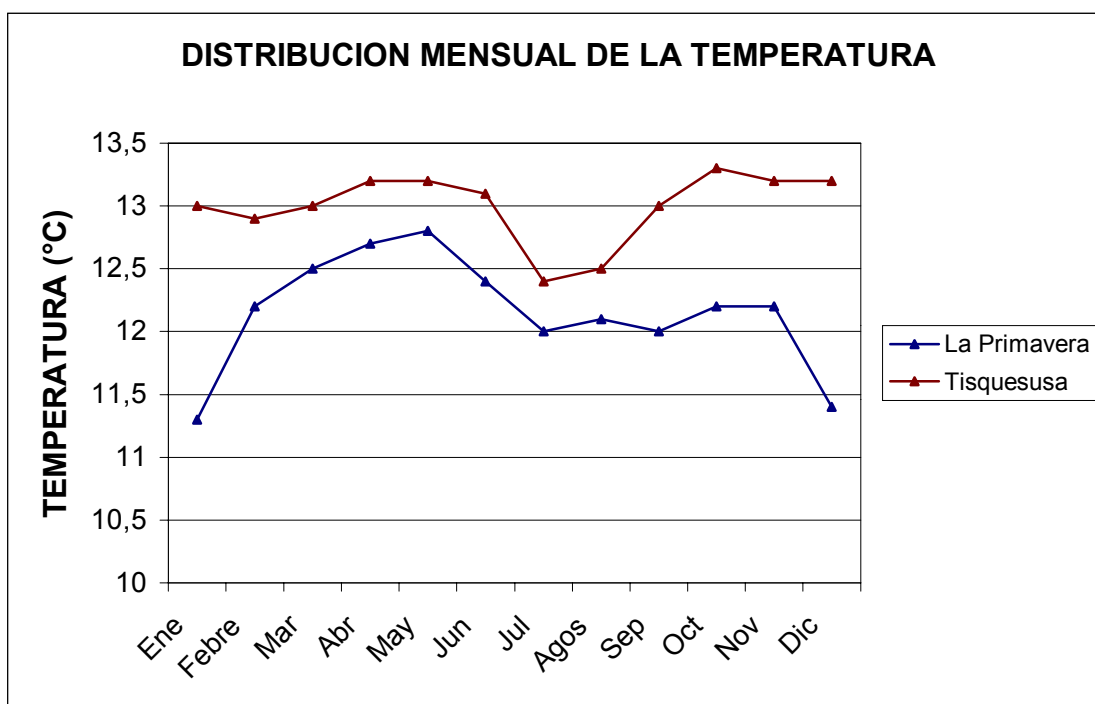
Como se puede apreciar, los resultados de la precipitación media de la cuenca, por cada uno de los métodos aplicados arrojan valores muy similares.

Para efectos del calculo del balance hídrico se utilizará el valor de precipitación dado por el método de las Isoyetas, por ser el procedimiento donde se analizan diversos parámetros, lo cual lo hace más preciso y confiable.

3.4.1.2 Temperatura

En la cuenca del Río Subachoque se localizan dos estaciones las cuales registran datos completos de la temperatura del ambiente.

En la estación La Primavera (CAR) ubicada a 2690 msnm se registra una temperatura media anual de 12.1 °C, con una variación entre 12.8 y 11.3 °C, en la



estación Tisquesusa (CAR) ubicada a los 2570 msnm se registra un valor medio anual de 13 °C, con una variación entre 13.3 y 12.4 °C. La temperatura máxima media mensual registrada fue de 13.3°C, en la estación Tisquesusa para el mes de octubre; y la mínima fue de 11.3°C, en la estación La Primavera para el mes de enero.

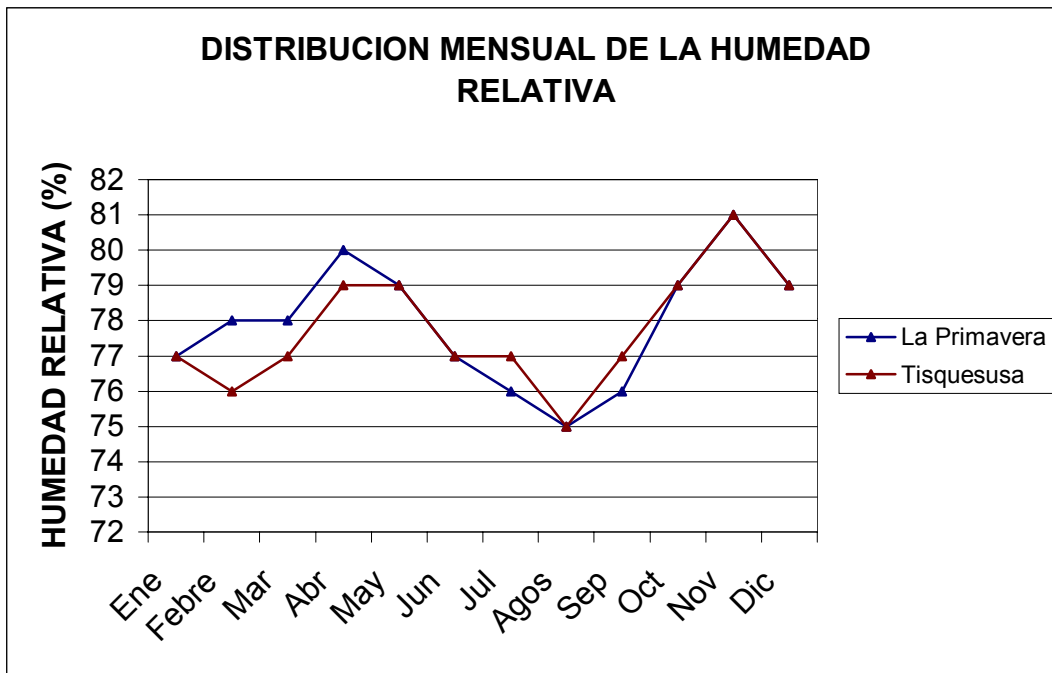
Gráfica 2. Distribución mensual de la temperatura.

3.4.1.3 Humedad Relativa

Existen en la zona de estudio dos estaciones que registran datos completos de Humedad Relativa.

Para la estación La Primavera se registro un valor medio anual de 78%, con rangos entre 81 y 75%. La estación Tisquesusa registró un valor medio anual de 78%, con rangos entre 81 y 75%.

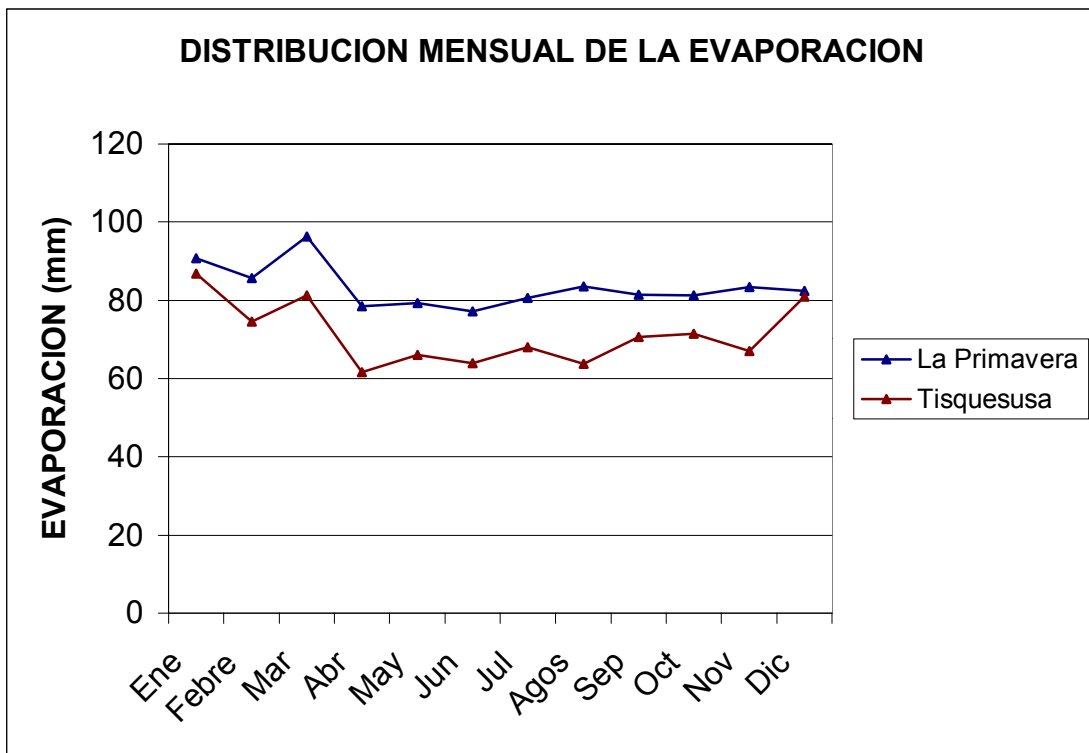
El valor máximo de humedad relativa es de 81% para las estaciones La Primavera y Tisquesusa en el mes de noviembre y el valor mínimo es de 75% para las estaciones de La Primavera y Tisquesusa para el mes de agosto.



Gráfica 3. Distribución mensual de la humedad relativa.

3.4.1.4 Evaporación

Existen en la zona de estudio dos estaciones que registran datos de evaporación. Para la estación La Primavera se registra un valor total anual de 1000 mm con rangos mensuales de 90.8 y 77.1 mm. La estación Tisquesusa registra un valor total anual de 856.2 mm con rangos mensuales entre 86.8 y 61.6 mm.



Gráfica 4. Distribución mensual de la evaporación.

3.4.1.5 Evapotranspiración

Para calcular la evapotranspiración potencial en la cuenca del Río Subachoque, se realizó una revisión de la información existente en las estaciones climatológicas de la CAR e IDEAM, para determinar cual poseía el periodo mas largo con información continua de los siguientes parámetros: Temperatura, Humedad Relativa, Tensión de Vapor, Brillo Solar, Velocidad del Viento y Evaporación.

Se descartaron las estaciones incompletas de información y que no era posible correlacionarlas con alguna otra estación para completarlas.

Del conjunto de estaciones estudiadas, la estación La primavera (CAR), fue la escogida para el cálculo de la evapotranspiración potencial por su completa y confiable información.

El calculo de la evapotranspiración potencial se realizó por siete ecuaciones, con las cuales se hizo un análisis comparativo de sus resultados, las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes: Blaney – Criddle, Garcia - Lopez, Thornthwaite, Turc, Hargreaves, Christiansen, Penman; donde sus resultados se muestran en la tabla.

Tabla 8. Resultados de la aplicación de las formulas de evapotranspiración

Fórmula	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Blaney - Criddle	81.70	77.86	87.77	86.99	90.63	86.86	88.46	88.35	83.77	86.59	81.66	81.98
Garcia - Lopez	21.23	24.73	29.72	28.52	31.16	28.87	27.56	29.22	26.67	26.51	23.96	20.35
Thornthwaite	49.26	48.83	55.68	54.93	57.31	53.36	52.99	53.53	51.28	54.06	52.32	49.79
Turc	74.76	71.05	77.04	72.13	70.59	70.42	70.70	71.08	72.66	72.45	74.46	71.39
Hargreaves	71.93	65.15	71.67	61.29	69.31	70.58	74.82	75.37	67.61	64.63	60.92	66.01
Christiansen	83.55	73.28	78.22	65.95	68.12	69.00	78.54	79.92	71.88	68.16	67.42	73.67
Penman	-	61.75	-	66.38	65.40	59.60	66.30	69.02	-	65.35	58.14	56.36

Como se puede observar, en la formula de Penman no existe resultado para los meses de enero, marzo y septiembre, debido a falta de datos de tensión de vapor en la estación La primavera.

Para la determinación de la formula más adecuada para el desarrollo del trabajo, se realizó una comparación entre datos directos de evaporación y los datos estimados de evapotranspiración potencial, para lo cual se tuvo en cuenta el índice estacional. (Ver tabla 9).

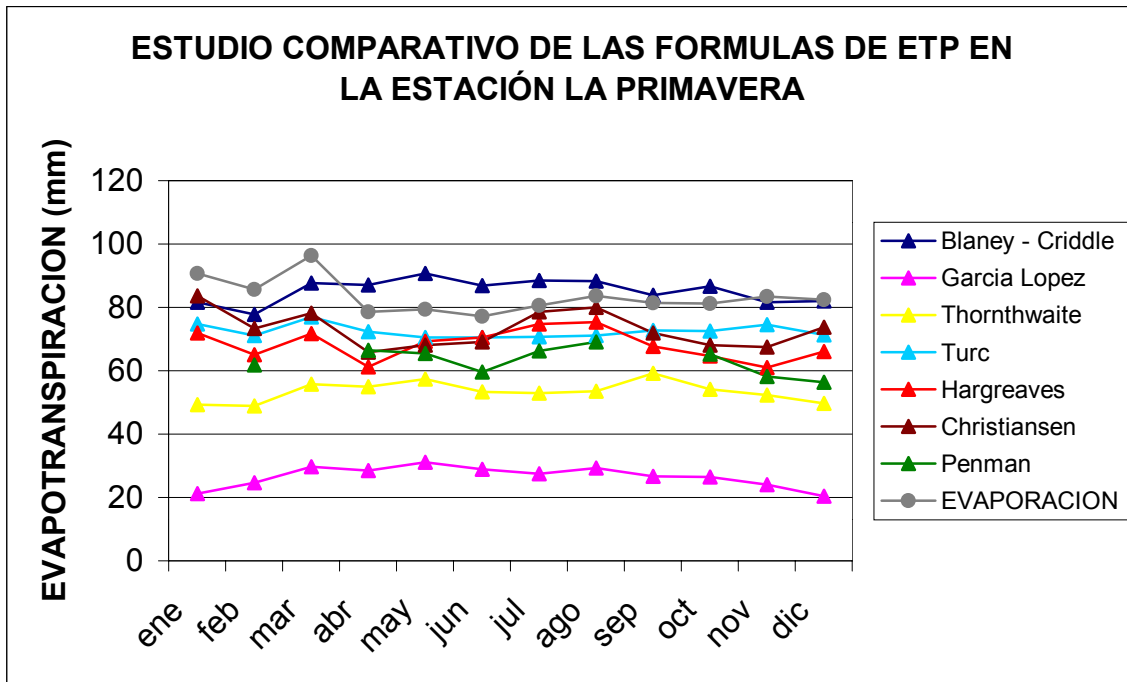
El índice estacional está expresado en porcentaje relacionando el valor promedio multianual mensual de cada uno de los datos y el valor promedio multianual de los mismos. El procedimiento seguido fue el siguiente:

- Cálculo del índice estacional de ETP para cada mes y cada una de las formulas utilizadas.
- Cálculo del índice estacional de Evaporación para cada mes.
- Diferencias entre los índices calculados y promedios de estas.

Las fórmulas que presentaron las menores diferencias al comparar los índices estacionales, se consideran las más ajustadas de acuerdo a este criterio.

Las formulas de Turc y Christiansen registraron las menores diferencias y las formulas de Garcia Lopez y Penman se caracterizaron por presentar las más amplias diferencias entre los índices estacionales.

Así mismo el método grafico que consistió en la superposición de las curvas de ETP sobre la de evaporación de la estación La Primavera, queda muy bien reflejadas las diferencias y se pudo determinar cual curva se ajustaba a un comportamiento similar a la evaporación.



Gráfica 5. Estudio comparativo de las formulas de ETP en la estación La Primavera

Para nuestro estudio, la formula de Turc se presentó como la mas ajustada para el calculo de la ETP, según los índices estacionales, así mismo es la fórmula que recomienda el IDEAM para la estaciones ubicadas en el altiplano Cundíboyacense.

El valor de Evapotranspiración Potencial para la cuenca del Río Subachoque es de 868.73 mm.

Se debe tener en cuenta que para efectos del balance hídrico se utiliza la evapotranspiración real (ET), no utilizándose la ETP (evapotranspiración potencial), ya que ésta es un límite superior de la cantidad de agua que vuelve a la

atmósfera, debe determinarse la evapotranspiración real y para esto debe tenerse en cuenta no sólo ese límite sino el agua que efectivamente existe en la zona.

Para el cálculo de la evapotranspiración real se multiplico el valor mensual de evapotranspiración potencial por un factor de 0.7, el cual fue tomado de los usos del suelo de la cuenca, para nuestro caso se generalizo como pastos, arrojando los siguientes resultados:

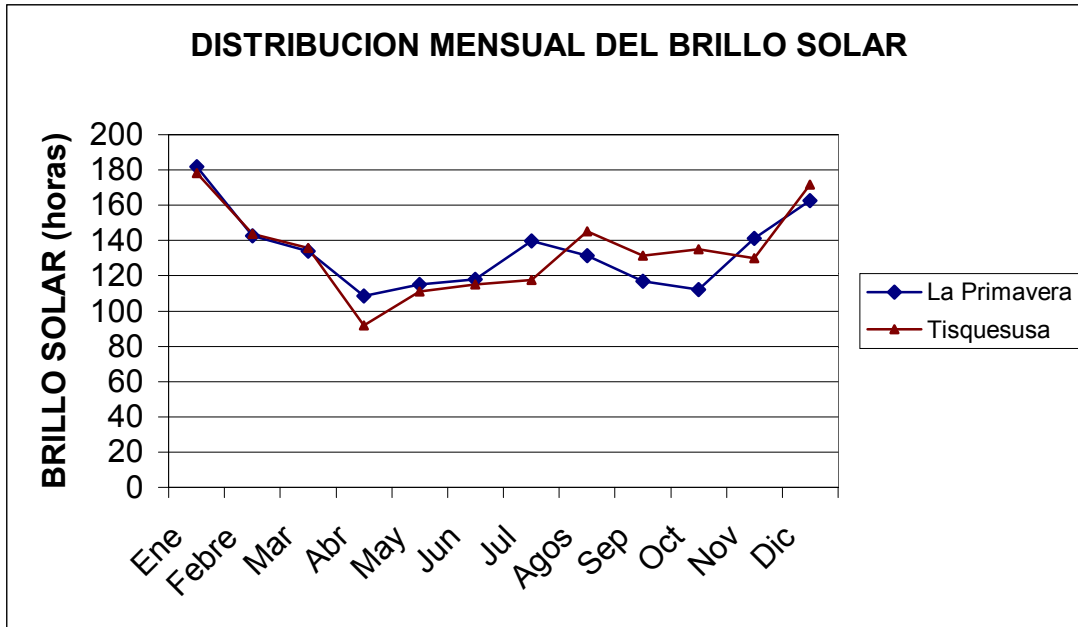
Tabla 10. Evapotranspiración real

	Ene	Feb	Mar	Abr	Mar	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
EPT _p	74.76	71.05	77.04	72.13	70.59	70.42	70.70	71.08	72.66	72.45	74.46	71.39	868.73
EPT _r	52.33	49.74	53.93	50.49	49.41	49.29	49.49	49.76	50.86	50.72	52.12	49.97	608.11

La evapotranspiración real para la cuenca del Río Subachoque es de 608.11 mm anuales.

3.4.1.6 Brillo Solar

En esta zona de la sabana de Bogotá existen tres estaciones que miden las horas de sol. La estación de La Primavera registro el valor anual de 1578 horas con rangos entre 182 y 108,7 horas mensuales. La estación Tisquesusa registro el valor anual de 1524 horas con rangos entre 178,3 y 91,7 horas mensuales.



Gráfica 6. Distribución mensual del brillo solar

3.4.2 Análisis de caudales

Para el análisis de curvas de duración de caudales y la estimación de la escorrentía subterránea y superficial, se utilizó la estación limnigráfica El Bosque; la cual se encuentra sobre la margen del Río Subachoque.

Esta estación no se encuentra ubicada a la salida de la cuenca sino a 16.2 kilómetros antes, por lo cual se tuvieron que simular los caudales en el punto de salida.

El método utilizado relaciona los registros de caudal de la estación y su área de influencia con los caudales a simular, que sería a la salida de la cuenca y el área total de la misma.

$$\frac{A_2}{Q_2} = \frac{A_1}{Q_1}$$

Donde

A_2 = Área total de la cuenca del Río Subachoque

Q_2 = Registros diarios de caudales a simular en el punto de salida de la cuenca

A_1 = Área de influencia de la estación El Bosque

Q_1 = Registros diarios de caudal estación El Bosque

$$Q_2 = \frac{Q_1 \times A_2}{A_1}$$

Este método tiene una serie de condiciones que se tuvieron que asumir para la aplicación del procedimiento, las cuales son:

- No existe ninguna obra de captación, derivación o vertimientos entre la estación El Bosque y el punto a la salida de la cuenca a simular.
- Se supuso que el área de drenaje es homogénea en tipo y uso del suelo.
- Se supuso que el coeficiente de escorrentía para el área de la cuenca antes de la estación El Bosque y después, son similares.

Por lo general no es suficiente analizar un único año, sino que debe estudiarse los registros diarios del año húmedo y seco, teniendo como base la estación pluviométrica más cercana, en nuestro caso la estación Las Margaritas, a la estación limnigráfica (El Bosque), el año en el cual se registraron las mayores precipitaciones fue 1994 y el año mas seco 1982, a dichos años se consultó los

registros de caudales diarios de la estación El Bosque y a los cuales se les aplico el método de simulación de caudales en el punto de salida de la cuenca.

El resultado de registros de caudal obtenidos se pueden ver en la tabla 11 y 12.

3.4.2.1 Curvas de Duración

Las curvas de duración de caudales pueden utilizarse, principalmente en la parte de los extremos, para la deducción de características de cuencas hidrográficas.

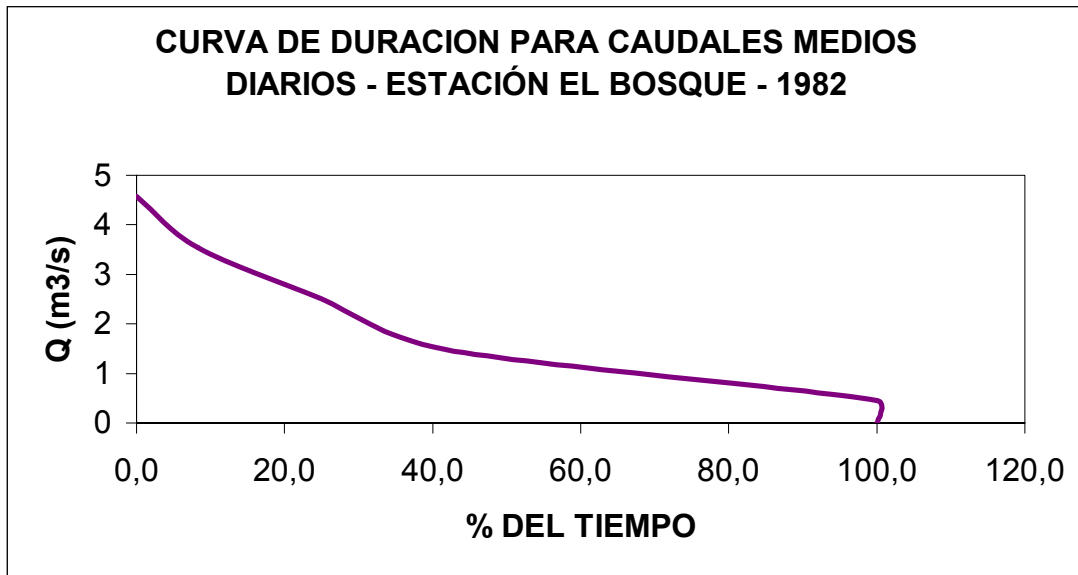
El empleo generalizado de las curvas de duración ha conducido a designar ciertos caudales para caracterizar los cursos de agua.

Las curvas de duración pueden tener diferentes aplicaciones como son:

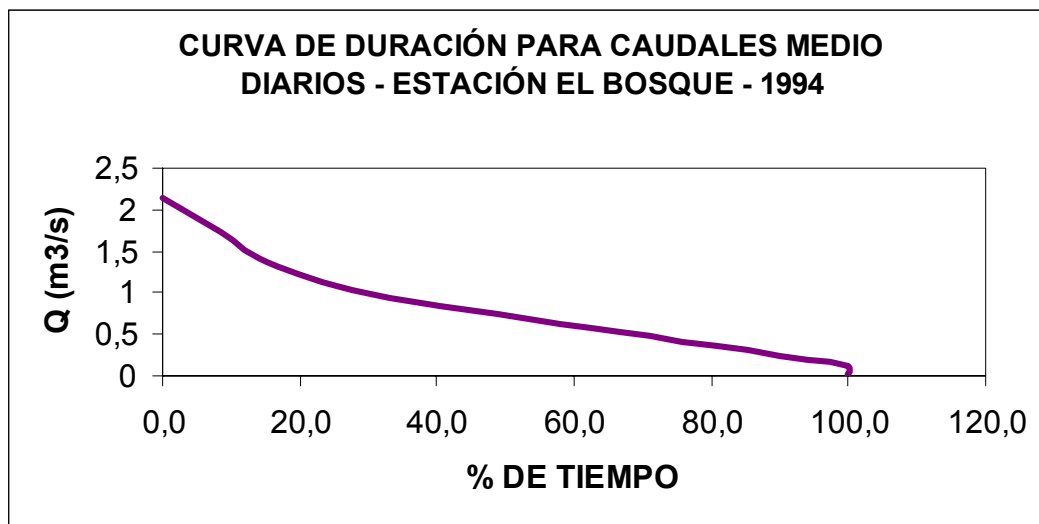
- Estudios de aprovechamiento del agua con fines de riego.
- Estudios hidrológicos.
- Análisis de proyectos de embalses.
- Comparación de corrientes fluviales.
- Estudios de suministro de agua potable.
- Control de contaminación del agua.

Para la realización de las curvas de duración se tuvieron en cuenta los registros simulados de caudales medios diarios para el año húmedo (1994) y el año seco (1982).

Desarrollándose la metodología para la realización de las curvas de duración, se obtuvieron las siguientes gráficas, interpretándose las características propias de la cuenca.



Gráfica 7. Curva de duración para caudales medios diarios. Estación El Bosque - 1982



Gráfica 8. Curva de duración para caudales medios diarios. Estación El Bosque - 1994

De las anteriores gráficas se deducen características de la cuenca:

El agua subterránea aporta caudales a la hoya, donde se puede tener un buen drenaje y poca retención de agua; así mismo se puede interpretar que el cauce está sujeto a caudales bajos (hoya hidrográfica correspondiente a un río pequeño) cuyas crecientes duran muy poco.

3.4.2.2 Análisis de hidrogramas

El método utilizado para la estimación de la escorrentía subterránea y superficial, fue la separación por hidrogramas compuestos utilizando el método gráfico, para el año seco y el año húmedo; donde se obtuvieron los siguientes resultados de escorrentía anual correspondiente a cada uno de los años.

Año	Escorrentía Superficial	Escorrentía Subterránea	Σ E _{sup.} + E _{sub}
1994	128 mm	80 mm	208 mm
1982	101.68 mm	78.75 mm	180.43 mm

Año	Volumen Agua Superficial	Volumen Agua Subterránea
1994	51.352.704 m ³ /año	31.691.088 m ³ /año
1982	40.760.928 m ³ /año	31.567.536 m ³ /año

3.4.3 Recarga por infiltración

El orden de magnitud de la infiltración de la precipitación en la Cuenca del Río Subachoque fue tomada del Estudio Hidrogeológico Cuantitativo de la Sabana de Bogotá realizado por INGEOMINAS, en donde se utilizó balances de humedad del suelo para obtener los valores de recarga y evapotranspiración reales.

Se encontró que existe un déficit de agua durante la mayor parte del año debido a que hay una mayor evapotranspiración potencial comparada con la precipitación.

La recarga ocurre, comúnmente en el mes de noviembre, que corresponde al segundo periodo húmedo del año.

En la siguiente tabla se muestra un estimativo de la recarga anual de cada una de las unidades geológicas presentes en la cuenca.

Tabla 13. Recarga neta anual en las unidades geológicas

UNIDAD GEOLOGICA	AREA (Km ²)	RECARGA	
		(m ³ x 10 ³ / año)	mm/año
Qal	10	351	35.1
Qc	4.3	150.93	35.1
Qta	183.5	4076.15	22.2
QTt	2.3	80.73	35.1
Teb	22.5	789.8	35.1
Tkgu	57.5	2016.5	35.0
Kglt	12.9	467.01	36.2
Kgpl	25.7	940.05	36.5
Kgd	32.4	1191.24	36.7

Fuente: INGEOMINAS – CAR. Estudio Hidrogeológico Cuantitativo de la Sabana de Bogotá

3.4.4 Análisis de la red de flujo

La red de flujo elaborada con los datos de monitoreo para los depósitos cuaternarios nos está indicando que en la parte sur – central, las zonas de recarga se ubican hacia los flancos de la estructura sinclinal, donde localmente afloran algunas capas de la Formación Tilatá y de los Depósitos de Terraza Alta.

La dirección del flujo de las aguas subterráneas de los Depósitos Cuaternarios (Qta – QTt), sigue aproximadamente la forma y la geometría de la estructura sinclinal del Río Subachoque.

A partir del modelo hidrogeológico y de los afloramientos de los depósitos aluviales (Qal) se infiere que potencial y localmente existe contacto hidráulico del Río Subachoque con las capas acuíferas de gravas y arenas de dichos depósitos.

Los mayores aportes al caudal del Río Subachoque provienen de los depósitos Aluviales que forman acuíferos discontinuos de extensión local y libres. Por lo tanto, en época de invierno se prevé que el río recarga localmente al acuífero y viceversa en época de verano.

3.4.5 Balance hídrico

El balance hídrico global tiene por objeto principal establecer las entradas y salidas del agua a la cuenca en un periodo de tiempo determinado.

Para ello hay que tener en cuenta el ciclo hidrológico, determinando cada uno de sus componentes y tratando de establecer un balance anual, teniendo en cuenta la ecuación general:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} \pm \text{Cambio de almacenamiento}$$

Esta simple relación del balance de agua, es la base de la ecuación del ciclo hidrológico.

$$P = E + Q_t + I$$

donde:

- P = Precipitación.
- E = Evapotranspiración Real
- Q = $Q_1 + Q_2$ = Caudal total
- Q_1 = Escorrentía Superficial.
- Q_2 = Escorrentía Subterránea.
- I = Infiltración.

Para nuestro estudio obtendremos dos valores de infiltración, para el año seco y el año húmedo.

Tabla 14. Balance hídrico anual

Datos Balance Hídrico	Año 1982 (seco)	Año 1994 (Húmedo)
Precipitación	822.19 mm	822.19 mm
Evapotranspiración	608.11 mm	608.11 mm
Escorrentía Total	180.43 mm	208 mm
Infiltración	33.65 mm	6.08 mm

Para efectos de la determinación de las zonas de protección se utilizó el valor promedio de los dos años (seco y húmedo), el cuál arrojó una infiltración promedio de 19.86 mm anuales.

4. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Se realizó una recopilación de la información existente en la CAR, de los datos del proyecto INVENTARIO DE DATOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA PARTE NOROCCIDENTE DE LA SABANA DE BOGOTÁ, realizado por INGEOMINAS en el año 1985 y de los datos suministrados por firmas consultoras y compañías perforadoras al igual que del ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUANTITATIVO DE LA SABANA DE BOGOTÁ elaborado por INGEOMINAS en convenio con la CAR, en 1991.

En 1991, se inventariaron un total de 176 aljibes. Los aljibes, se caracterizan por ser excavaciones de hasta 15 m de profundidad, que producen caudales bajos, se utilizan en actividades domésticas y la mayoría captan capas acuíferas de los Depósitos de Terraza Alta (Qta), Aluviones (Qal) y unos pocos en la Formación Guaduas (Tkgu) y la Formación Bogotá (Teb). (Ver Mapa .)

5. ZONAS DE PROTECCIÓN

5.1 EVALUACIÓN AMBIENTAL

El uso actual de la cuenca no es el más apropiado y en consecuencia se encuentran ciertas áreas en condiciones de sobreexplotación y en proceso de deterioro, generando impactos al suelo, al recurso hídrico y a su entorno.

Los impactos generados por las actividades antrópicas a los suelos de esta zona, se pueden agrupar en diferentes grados de erosión por alteraciones de la capa superficial del suelo, a través del desarrollo de una ganadería extensiva, de las prácticas agrícolas, de los cultivos de flores y a la poca cobertura vegetal existente.

El uso de plaguicidas y fertilizantes no sólo está afectando el suelo, sino que por infiltración se presenta el ingreso de estas sustancias llegando a los niveles freáticos.

Las labores agrícolas, especialmente el cultivo de papa, son una fuente de contaminación del agua que drena. Los cultivos limpios o transitorios aportan plaguicidas y abonos que pueden llegar al medio acuático, afectando su calidad.

La agricultura tradicional está ocasionando impactos de moderada a alta magnitud al medio hídrico de la zona, con el agravante de que esta afectación se está

generando en la parte alta de la cuenca, donde nace el agua que irrigará el resto del valle del Río Subachoque.

Otro factor perturbador de la calidad del agua, son las descargas puntuales de los desechos domésticos (letrinas y tanques sépticos), los cuales llegan directamente a las corrientes naturales de la cuenca sin ningún tratamiento previo, debido a que estas construcciones no cuentan con los parámetros técnicos de ubicación y estructura.

Se estableció, que el uso de aguas residuales para irrigación, está aportando al subsuelo nutrientes y sales en cantidades considerables que exceden las necesidades de las plantas, facilitando la infiltración de nitrógeno y cloruros.

5.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN.

Para la definición de las zonas de protección se tuvo en cuenta la vulnerabilidad que tiene los aljibes y pozos a la contaminación según la Tesis de Grado “EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS DEL CUATERNARIO EN LA CUENCA DEL RÍO SUBACHOQUE.” Realizada en la Universidad de La Salle por la estudiante Adriana Rodríguez Barrera, en el año 2000.

En ese trabajo se evaluó la vulnerabilidad de los depósitos cuaternarios debido a su ubicación estratigráfica y a su importancia hidrogeológica para el uso, manejo y

aprovechamiento de los recursos hídricos subsuperficiales y subterráneos de la cuenca.

Los depósitos cuaternarios de la cuenca del Río Subachoque presentan una vulnerabilidad alta debido primordialmente a las características texturales del suelo y a su reducido espesor en algunos sectores de la cuenca.

En la evaluación de vulnerabilidad realizada con base en los datos de los pozos seleccionados, se observó que los índices de vulnerabilidad son bajos, debido al grado de confinamiento en que se encuentran los acuíferos, así como el sustrato litológico que predomina en la zona no saturada que se caracteriza por ser arcilloso, lo que le da un alto grado de atenuación a la contaminación.

En los lugares donde se encuentran ubicados los aljibes, según el estudio, se presentaron valores más altos de vulnerabilidad, debido principalmente a la condición de confinamiento, ya que en dichos lugares, los acuíferos se consideraron semiconfinados. El factor de profundidad también tuvo gran peso, dado que mientras el promedio de profundidad de los acuíferos que se encuentran en los lugares donde se hallan pozos de 11 m, el de los aljibes es de 3 m, además, para los pozos, cuyos acuíferos pertenecen en su mayoría a los depósitos de Terraza Alta, la capa confinante es eminentemente arcillosa, mientras que en los aljibes sobretodo aquellos cuyos acuíferos corresponden a los depósitos aluviales, se observan intercalaciones de grava, arena y arcilla, lo que le da un carácter menos impermeable.

Según todo lo anterior se justifica que se debe definir las zonas de protección para los aljibes ubicados en los Depósitos Cuaternarios (Q), donde está representado

por Formación Tiltatá (QTt), Depósitos de Terraza Alta (Qta), Depósitos Aluviales (Qal) y Depósitos Coluviales (Qc).

En el anexo se presenta la tabla 15, del inventario de aljibes a los cuales se les definirá las zonas de protección.

5.3 DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN

La definición de las zonas de protección para aljibes se basa en el riesgo que una actividad representa para la calidad de las aguas subsuperficiales y subterráneas. Aplicamos el enfoque basado en tres zonas adoptado por la Agencia Ambiental del Reino Unido, para la protección de las fuentes de agua subterránea. Anteponeamos que existen otros criterios para definir las zonas de protección, con algunas variaciones. (Ver esquema 4)

En nuestro caso lo enfocamos en tres zonas: una interior, una exterior, y la zona de captura de los aljibes analizados.

5.3.1 Tipos de Zonas de Protección de las Fuentes

5.3.1.1 Zona de Protección Interior

El propósito de la zona de protección interior es impedir la contaminación biológica por agentes patógenos (virus y bacterias). Dada las circunstancias ecológicas naturales, topográfica y de explotación de los suelos del área, ésta zona la definimos por la distancia equivalente a un tiempo de flujo horizontal de 50 días. Este se basa en la investigación según el criterio de degradación biológica (Adams y Foster, 1992).

5.3.1.2 Zona de Protección Exterior.

Las zonas de protección exterior está definida por el tiempo de recorrido de 400 días o por el área requerida para proporcionar el 25% de la extracción de los aljibes, cualquiera de las dos sea la mayor; para la definición que usa el criterio del 25%, se utiliza el caudal de flujo establecido en la concesión de aguas; esta es la mayor extracción que puede bombearse legalmente desde la fuente, no el caudal de bombeo real.

La zona exterior se describe como la distancia mínima requerida para permitir el retardo, dilución y atenuación de los contaminantes que se degradarán lentamente. Usualmente no se define para los acuíferos confinados, dado que el estrato confinante brinda protección.

5.3.1.3 Zona de Captura de las Fuentes.

La zona de captura de las fuentes se define como la superficie necesaria para soportar en el largo plazo el caudal de extracción autorizado. Si el acuífero es confinado, la zona de captura de las fuentes puede estar ubicada a alguna distancia del aljibe fuente (ver esquema 1 y 2).

La definición precisa de las zonas de protección son muy complejas por la gran cantidad de información que se requiere, para nuestro trabajo de investigación se contó con información primaria y secundaria de tipo hidrogeológico que incluye los siguientes aspectos:

- Geología
- Tipo de acuífero
- Información Meteorológica
- Información Hidrogeológica

5.4 MÉTODOS DE DELINEACIÓN

La definición de las zonas de protección de las fuentes se basa en el riesgo que una actividad representa para la calidad del agua en relación con su proximidad a los aljibes.

Las zonas a proteger, sirven igualmente para determinar la vulnerabilidad y riesgo de las fuentes para desarrollo futuro y posterior uso de la tierra en las zonas donde se encuentran dichos acuíferos.

Para escoger el método de delineación correcto, se tuvo en cuenta:

- La información geológica e hidrogeológica disponible.
- Los recursos humanos y financieros disponibles.
- La necesidad prioritaria de definición de las zonas de protección debido a sus beneficios para la salud y usos del agua para otras actividades.

Así mismo se estableció que con éste método de definición, los acuíferos deben estar en estado de equilibrio, esto supone que la extracción y la recarga no cambian en función del tiempo; lo anterior lo confirma la estabilidad en la precipitación en los acuíferos trabajados. Es importante tener en cuenta igualmente que los acuíferos no están sobre - explotados.

Después de recopilada, y analizada la información existente sobre las características de los acuíferos de los Depósitos Cuaternarios de la cuenca del Río Subachoaque, determinamos que los métodos a utilizar de acuerdo a las condiciones de los aljibes, son los métodos simples de cálculos manuales y los semianalíticos, ya que no requieren la aplicación de técnicas especiales y complejas de modelación de las aguas subterráneas.

El modelo conceptual es el diseño básico del modelo; esto nos garantiza que la interpretación hidrogeológica y la modelación de las aguas subterráneas deben combinarse en estos procesos de definición de las zonas de protección. Debemos aclarar que existen otras formas simples de definición de las zonas de protección.

5.4.1 Método Manual.

En los enfoques más simples con respecto a la delimitación de las zonas de protección se utiliza un método de flujo volumétrico. Se asume además que el flujo del aljibe es radial.

Así mismo manifestamos que estas ecuaciones requieren muchos supuestos simplificadores concernientes a la naturaleza del acuífero y el caudal del agua subterránea. Sin embargo, este método proporciona un conocimiento rápido y poco costoso con respecto al probable tamaño de las zonas de protección.

5.4.1.1 Ecuaciones Básicas

Para un enfoque simple, con respecto a la delimitación de las zonas de protección utilizamos el método de flujo volumétrico. Se asume que el flujo del aljibe es radial.

La zona de captura de la fuente del área $A(m^2)$ es entregada por una relación de equilibrio de flujo.

$$A = \frac{Q}{R}$$

Donde $Q (m^3/día)$ es la extracción autorizada diaria y $R (m/día)$ es la recarga diaria efectiva, el caudal de recarga distribuido que llega al acuífero.

El radio, r (m), de esta zona circular se calcula a partir de:

$$r = \sqrt{\frac{Q}{\pi \times R}}$$

Las áreas de la zona de tiempo de recorrido (zonas de 50 días, radio interior y 400 días, radio exterior) pueden calcularse utilizando una simple relación que no considera la recarga al acuífero.

$$A = \frac{Q \times t}{b \times n}$$

A es el área para t días. El espesor del acuífero está representado por b (m) y n es la porosidad efectiva. Nuevamente, esta relación puede ser utilizada para calcular el radio para ciertos tiempos de recorrido:

$$r = \sqrt{\frac{Q \times t}{\pi \times b \times n}}$$

5.4.1.2 Soluciones analíticas

Si el acuífero confinado tiene un gradiente hidráulico uniforme, puede aplicarse una solución analítica para especificar la forma de zona de captura (Fetter YEAR, P501):

$$\frac{y}{x} + \tan\left(\frac{2\pi K b i y}{Q}\right) = 0$$

Donde:

X e y = las coordenadas cartesianas donde el aljibe es 0,0 (m)

Q = caudal de bombeo del aljibe. (m³/día)

K = la conductividad hidráulica del acuífero. (m/día)

b = el espesor del acuífero (m)

i = el gradiente hidráulico en la dirección x.

Esta ecuación describe la línea del limite de la zona de captura.

El ancho máximo de la zona de captura aguas arriba, Y1 (m), es dado por:

$$Y_1 = \frac{Q}{2 \times K \times b \times i}$$

La distancia al punto de estancamiento X1 (m). Esta distancia corresponde al punto límite de extracción de la captación teniendo en cuenta la dirección del flujo de agua subterránea, y está dada por:

$$X_1 = \frac{Q}{2 \times \pi \times K \times b \times i}$$

Para cada uno de los aljibes trabajados los resultados matemáticos fueron: (Ver tabla 16), (Ver Cálculos matemáticos).

5.4.2 Método Semi – Analítico - WHPA

El programa WHPA (Wellhead Protection Area) es un programa para aguas subterráneas desarrollado por la agencia de protección Ambiental Norteamericana para ayudar a la definición de las zonas de protección (WHPA, 1993).

La principal ventaja que observamos al trabajar con este programa fue: la facilidad de usar con un interfaz de usuario simple; la desventaja, es que sólo permite analizar sistemas hidrogeológicos simplificados y que el programa fue desarrollado para el sistema operativo DOS, los resultados en cuanto los impresos y gráficos no es excepcional. El programa WHPA se puede ejecutar prácticamente en cualquier PC.

El WHPA consiste en una serie de módulos individuales que realizan los siguientes procesos:

- Cálculo de los patrones de flujo regionales
- Cálculo del descenso dinámico de un pozo bombeado
- Suposición de la influencia del bombeo sobre el patrón de flujo regional

- Cálculo de las velocidades a partir de la conductividad hidráulica y los gradientes de las aguas subterráneas
- Rastreo del movimiento de partículas a través del campo de velocidad para determinar las rutas que toma el agua hacia el aljibe.

Los supuesto básicos establecidos, después de haber analizado la información existente sobre los acuíferos de los Depósitos Cuaternarios (Q), para el modelo WHPA son las siguientes:

- Los acuíferos de los Depósitos Cuaternarios (Q), son uniformes.
- El flujo de aguas subterráneas es bidimensional.
- Los límites impermeables o de recarga, penetran completamente los acuíferos.
- El flujo de agua subterránea se presenta en una dimensión con un gradiente uniforme.

5.4.2.1 Módulo RESSQC

Este módulo define las zonas de tiempo de recorrido para múltiples aljibes en el acuífero uniforme con un gradiente hidráulico uniforme, caso de los Depósitos Cuaternarios (Q). La información utilizada fue:

- Unidades para cálculo, metros
- Dimensiones del área de estudio, coordenadas x e y mínimas y máximas
- Número de aljibes
- Transmisividad del acuífero

- Porosidad
- Espesor del Acuífero
- Gradiente hidráulico
- Tiempo para el cálculo de los resultados

Se tuvo en cuenta, que además de las propiedades de los aljibes y los acuíferos, existían una serie de parámetros relacionados con la precisión con la cual se realiza el cálculo. El modelo WHPA es limitado en cuanto al número de puntos discretos del área de estudio para la cual se pueden calcular soluciones.

El módulo RESSQC, constituye un método rápido de definición de las zonas de tiempo de recorrido. Este módulo es ideal para las zonas de tiempo de recorrido, pero las zonas de captura siempre se extenderán hasta el límite. Una posible técnica para permitir la definición de las zonas de captura de las fuentes consiste en limitar las rutas una vez que cubran un área igual a aquella requerida para proporcionar recarga al pozo.

Para el procedimiento definimos las zonas de tiempo de recorrido de 50 y 400 días, y estimamos la zona de captura, como la zona de tiempo recorrido, y después ingresamos la información en el programa WHPA (Ver esquemas de Modelación 3).

5.5. EVALUACIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN DE LOS ALJIBES EN LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS (Q)

La aplicación de los métodos manuales, analíticos y semianalíticos para definir las zonas de protección de los aljibes en la cuenca del Río Subachoque los cuales captan las aguas subsuperficiales y aguas subterráneas permiten deducir que su tamaño y la forma dependen de una diversidad de factores hidráulicos e hidrogeológicos y del tipo de zona a definir.

Es así como la geometría de las zonas de protección para los diferentes aljibes dependen de su caudal de bombeo, la recarga directa a través de los suelos proveniente de la precipitación, la conductividad hidráulica, la porosidad efectiva, el gradiente hidráulico y su magnitud.

Como se pueden observar en los anexos, los resultados de los métodos manual y soluciones analíticas obtenidos para la definición de las zonas de protección de los aljibes, se pueden destacar los siguientes aspectos:

- Si tomamos como referencia el aljibe Los Bebederos observamos que la forma y el tamaño de sus zonas de captura y protección para tiempos de recorrido de 50 y 400 días son mucho mayores en comparación al aljibe Las Monas debido a muchos factores tales como su caudal ($17.28 \text{ m}^3/\text{día}$), el cual es mucho mayor al captado por el aljibe Las Monas ($1.728 \text{ m}^3/\text{día}$).
- La influencia de la porosidad efectiva utilizada en los métodos de delineación de las zonas de captura para los pozos a pesar de que teóricamente esta relacionado con la velocidad utilizada para calcular los tiempos de recorrido, no refleja cambios significativos para el tamaño y la forma de las zonas de protección de las zonas de recorrido para los aljibes. Es importante destacar que la porosidad asumida para todos los aljibes es del orden de 0.1 según Custodio y Llamas (1983), por lo que se pueden estar subestimando valores

regionales, aún subregionales a locales por porosidad secundaria, induciendo o no a la definición de zonas más grandes o más pequeñas de protección de lo necesario.

- La Conductividad Hidráulica de los aljibes de los Depósitos del Cuaternario influyen en la forma, el ancho y la extensión gradiente abajo de las zonas de protección; como se observa en la tabla 16, el aljibe Los Bebederos presenta un punto de estancamiento (X) y un ancho máximo (Y) de la zona de captura mucho mayor que la del aljibe Las Monas.
- El gradiente hidráulico utilizado para todos los aljibes es del mismo orden de magnitud (0.001) por lo que no reflejan cambios apreciables en la delimitación de las zonas de protección por este factor hidráulico.
- La recarga por infiltración estimada a través de los suelos y utilizada para definir el área de la zona de captura es del mismo orden de magnitud para todos los aljibes por lo que este parámetro no refleja o tiene poca influencia en las áreas de zonas de protección relacionada con el tiempo.

5.6 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE

El análisis de incertidumbre es una técnica para medir los probables errores presentes en la definición de las zonas de protección. Es probable que se haya estimado uno o más de los parámetros usados para definir la zona de protección.

Otros parámetros pueden corresponder a valores medidos, pero estos también están asociados a errores.

El análisis de incertidumbre muestra la manera en que difieren las zonas de protección; difieren si los parámetros serían en cantidades establecidas. Por ejemplo la recarga del acuífero es un parámetro difícil de estimar incluso con información meteorológica detallada. El posible error en las estimaciones de la recarga pueden ser entre 20 y 50%.

En el caso de los métodos de delineación simples descritos anteriormente, los cálculos pueden repetirse con valores de recarga (por ejemplo) 30% más altos y 30% más bajos.

De esta manera puede establecerse la confianza de ciertas áreas de la superficie del suelo dentro de la zona de protección interior o exterior.

Entre los posible parámetros a variar durante los análisis de sensibilidad, incluimos:

- Porosidad
- Conductividad hidráulica
- Espesor del acuífero
- Caudal de bombeo
- Gradiente hidráulico
- Caudal de recarga

El error asociado a cada parámetro existe, por lo tanto no hay que desecharlo; para nuestro caso como fue calculado, entonces el error es mínimo. El caudal de

bombeo y el gradiente hidráulico tienen una mayor precisión que la porosidad o la recarga. El juicio realizado por nosotros en el análisis hidrogeológico, nos permite estimar un error mínimo por el conocimiento local que se tenía.

5.6.1 Factores que controlan la forma de las zonas de protección

El tamaño y la forma de una zona de protección dependieron de diversidad de factores hidráulicos e hidrogeológicos y del tipo de la zona a definir.

5.6.1.1 Factores hidrogeológicos que influyen en la zona de protección

La geometría de las zonas de captura dependen de los siguientes factores:

- Caudal de bombeo
- Recarga directa
- Conductividad hidráulica
- Porosidad efectiva
- Espesor del acuífero
- Gradiente hidráulico y magnitud

En las tabla 18 y 19 se muestra la manera en que los diversos parámetros influyen en la forma y el tamaño de las zonas de protección y los posibles problemas relacionados con los datos de terreno y su influencia en los modelos y la delineación de las zonas de protección.

6. CONCLUSIONES

Para la definición de las zonas de protección de los aljibes que captan los Depósitos del Cuaternario (Acuíferos de Terraza Alta y Aluvial) se tuvo en cuenta las características litológicas e hidráulicas de las mismas obtenidas a través de pruebas de bombeo e investigaciones anteriores.

El balance hídrico de la cuenca del Río Subachoque nos indica que la precipitación promedio es de 822.19 mm. La evapotranspiración potencial fue evaluada por diferentes métodos de los cuales el que más se ajusto a la curva de evaporación fue el método de Turc arrojando un valor de 868.73 mm. La escorrentía total evaluada por el método de separación de hidrogramas nos indica que varia entre 208 mm para el año húmedo (1994) y 180.43 mm para el año seco (1982). La infiltración considerando cambios de almacenamiento de la cuenca a nivel anual cercanos a cero nos indica un valor 19.86 mm / año y corresponde a 2.4% de la precipitación. Lo que indica que en la cuenca hay recarga pero esta limitado a las zonas de recarga de los Depósitos Cuaternarios (Acuíferos Terraza – Alta y Aluvial).

Las curvas de duración nos indican que hay una interacción entre el caudal que fluye a través del río y los sistemas acuíferos o el flujo subterráneo; el caudal del río Subachoque es regulado por el flujo de aguas subsuperficiales y subterráneas provenientes de los Depósitos Cuaternarios.

Los Depósitos Cuaternarios (Acuíferos Terraza – Alta y Aluvial) presentan índices de vulnerabilidad extremos a altos, lo cual indica que son vulnerables a la contaminación; la definición de las zonas de protección y captura de los aljibes que captan estos acuíferos deben ser reevaluados a través de la captura de información en campo que permitan conocer en forma real para cuantificar estos índices de vulnerabilidad.

Para la formulación de las políticas de protección de las aguas subterráneas se debe tener en cuenta una clasificación y el mapeo de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, seguido de la definición de zonas especiales de protección alrededor de las captaciones; estas políticas para la cuenca del Río Subachoque ya se encuentran formuladas gracias a un estudio anterior de vulnerabilidad y a la determinación de las zonas de protección objetivo principal de este estudio.

Los resultados que se obtuvieron del método manual fueron desarrollados por formulas empíricas para efectos de modelación de las zonas de protección y de captura; se han generalizado algunos parámetros hidráulicos de las capas acuíferas de los Depósitos Cuaternarios (Terraza – Alta y Aluvial) que captan los aljibes cuyos resultados muestran una aproximación a la realidad por lo tanto se deben hacer pruebas hidráulicas que conduzcan a tener un modelo mas real para efectos de aplicación en el área de estudio

7. RECOMENDACIONES

Para efectos de realización de balances hídricos se requiere que los datos registrados por las estaciones sean continuos y completos ya que de lo contrario puede llegar haber alteraciones en los resultados arrojando valores y análisis hidrológicos contrarios a las características de la zona estudiada, para ello recomendamos a la CAR tener un seguimiento y constante monitoreo a las estaciones meteorológicas para lograr una confiabilidad de los datos registrados.

Realizar mediciones periódicas de los niveles freáticos en períodos secos y húmedos, previo geoposicionamiento de cada una de las fuentes de aguas subterráneas de los puntos de la red (aljibes) para obtener el flujo subsuperficial, definir unas zonas de recarga, tránsito y descarga de las unidades acuíferas (Q_{ta} y Q_{al}) lo que puede definir o precisar las zonas de captura o de protección de los aljibes.

Desarrollar ensayos de acuíferos mediante pruebas de bombeo, en los aljibes, así como en pozos profundos utilizando pozos de observación, que permitan obtener parámetros hidráulicos, el comportamiento de la superficie freática y de los conos de abatimiento ante un intenso bombeo, tanto de los pozos o aljibes, con el fin de determinar posibles interferencias entre ellos, zonas de sobre explotación o barreras estructurales.

Se recomienda realizar monitoreos hidroquímicos constantemente a los aljibes, con el fin de vigilar y diagnosticar cualquier tipo de contaminación y detectar variaciones en las concentraciones de diferentes parámetros físico-químicos y bacteriológicos en relación a las zonas de protección y captura.

Se recomienda que las áreas donde se concentra el mayor número de actividades industriales y agrícolas se instale un sistema de monitoreo para reconocer las cargas contaminantes que fluyen a través de capas acuíferas que captan aljibes o zonas con alta densidad de aljibes y de esta manera facilitar su control.

Hacer un inventario de los tipos de saneamiento básico que se encuentran ubicados en el sector; igualmente determinar su diseño y estado de las instalaciones sanitarias y su relación espacial con los puntos de agua de los abastecimientos subterráneos con el fin de evitar contacto con las capas acuíferas que captan los aljibes e impedir una posible contaminación.

Se recomienda hacer estudios hidrogeológicos detallados en el momento en que se planea la construcción de estructuras sanitarias (rellenos sanitarios, plantas de tratamiento de agua residual) con el fin de evitar que se conviertan en fuentes de carga contaminante para los acuíferos de los Depósitos Cuaternarios.

Es necesario llevar un control de las compañías de aljibes, con el fin de que se hagan los diseños adecuados, especialmente en lo que respecta a los sellos sanitarios e igualmente se le recomienda a la CAR controlar la localización y la

cantidad de pozos y aljibes para evitar en el futuro el agotamiento del recurso hídrico subterráneo.

Se deben sellar apropiadamente los aljibes que estén abandonados, con el fin de disminuir la vulnerabilidad a la contaminación de capas acuíferas captadas por los aljibes y las zonas de protección de los aljibes, evitando que sean utilizados como sitio de disposición final de los residuos líquidos y sólidos.

Es necesario adelantar programas de protección (reforestar – regenerar el bosque nativo) en el nacimiento y la ronda del río, quebradas afluentes y las zonas de recarga, para evitar su deterioro causado especialmente por la deforestación y la contaminación que puede generar la descarga de vertimientos o el mal manejo de los residuos sólidos sobre el cauce del río lo cual contribuye a la contaminación de las aguas subterráneas.

Difundir y educar a los habitantes del sector sobre el adecuado manejo y las precauciones que se deben tener para evitar la contaminación del agua subterránea y dar la importancia necesaria a dichas aguas como una futura fuente de abastecimiento en la región.

Implementar los resultados obtenidos de este estudio para la protección de las aguas subterráneas de la cuenca del Río Subachoque teniendo en cuenta los usos del suelo y las actividades impactantes controlándolas y restringiéndolas de tal manera que no se desarrollen en las zonas propuestas de protección de los aljibes.

Se recomienda que en la zona de protección interior y exterior no se desarrollen algunos tipos de obras como rellenos sanitarios, vertimientos industriales y municipales al igual que los agrícolas, pozos sépticos y zonas de desagües, actividades de extracción y cualquiera que sea un potencial de contaminación. (Ver matriz tabla 17).

Se recomienda a la CAR realizar un inventario físico de los aljibes e implementar pruebas de bombeo para obtener parámetros hidráulicos de los acuíferos; así mismo sugerimos se implemente este estudio de zonas de protección como un aporte para el mejoramiento de la calidad y conservación de las aguas subterráneas en la cuenca del Río Subachoque.

BIBLIOGRAFÍA

CASTRO, M. A. Y GUZMAN, O. Estudio comparativo de fórmulas de evapotranspiración potencial en Colombia. Himat, 1985. Bogotá. 83 p.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA. Estudio de Aguas Subterráneas en la Sabana de Bogotá. II Etapa. Bogotá – 1975

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA. Módulo de Exploración de Aguas Subterráneas. " Cultura del Agua ". Bogotá. CAR. 2000..

CUSTODIO, E. Gestión y protección de las aguas subterráneas, Curso de actualización profesional, II Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Chile. 1995.

ENVIRONMENT AGENCY. Policy and Practice For The Protection Of Groundwater. London: The Stationery Office. Second Edition, 1998. 58 p.

FOSTER, S. C.W. Applied Hydrogeology. Columbus, Ohio: Chales E. Merrill Publishing Co. 1980. 473 p.

FOSTER, S. VENTURA, M., E. HIRATA, R. Contaminación de las aguas subterráneas: un enfoque ejecutivo de la situación de América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable. OMS, OPS-HPE, CEPIS; Lima-Perú, 1987. 42 p.

FOSTER, S. E, HIRATA, R. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Lima-Perú. 1988. 79 p.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. PLIOCENO Y CUATERNARIO DEL ALTIPLANO DE BOGOTA Y SUS ALREDEDORES.

INGEOMINAS - Instituto Nacional de Investigaciones Geológico – Mineras.
HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RIO SUBACHOQUE, SABANA DE BOGOTA. Estudio Hidrogeológico Cuantitativo de la Sabana de Bogotá.

LEWIS, W.,FOSTER, S., DRASSAR, B. Análisis de la Contaminación de las Aguas Subterráneas por Sistemas de Saneamiento Básico. CEPIS, OP/OMS. 1984. 81 p.

LEWIS, W.,FOSTER, S., DRASSAR, B. Análisis de la Contaminación de las Aguas Subterráneas por Sistemas de Saneamiento Básico. CEPIS, OP/OMS. 1984. 81 p.

MARTINEZ DE AZAGRA, ANDRÉS. Hidrología Forestal. Universidad de Valladolid. 1996.

MONSALVE SAENZ, GERMAN. Hidrología en la ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª Edición.

RODRIGUEZ BARRERA ADRIANA. Evaluación Hidrogeológica para determinar la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos del cuaternario en la Cuenca del Río Subachoque. UNISALLE. 2000.

SHAW, E.M. Hydrology and practice. Second Edition. Van Nostrand Reinhold Co. Ltda. (UK). 1988. 539 p.

TENJO, G. Control de Explotación de Aguas Subterráneas. Capítulo preparado para el Manual Técnico Administrativo "Política de protección de Acuíferos" OPS/CEPIS. 1990. 142 p.

VELEZ OTALVARO, MARIA VICTORIA, Hidráulica de las aguas subterráneas. Facultad de Minas – Universidad Nacional. 1999.

CÁLCULOS

- MÉTODO MANUAL - ALJIBE LAS MONAS

$$A = \frac{Q}{R}$$

Donde:

A: es el área del pozo.

Q: es la extracción autorizada diaria.

R: es la recarga diaria efectiva

$$A = \frac{1.728 \frac{m^3}{d}}{5.44 \times 10^{-5} \frac{m}{d}} = 31750.31 m^2$$

El radio de esta zona circular será:

$$r = \sqrt{\frac{Q}{\pi \times R}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1.728 \frac{m^3}{d}}{\pi \times 5.44 \times 10^{-5} \frac{m}{d}}} = 100.53 m$$

Tomando como espesor para este aljibe 3.2 m y una porosidad de 0.1 para tiempos de 50 y 400 días, tenemos

$$A = \frac{Q \times t}{b \times n}$$

A: Área de las zonas de tiempo de recorrido (50 y 400 días)

b: Espesor del acuífero

n: porosidad efectiva

t: tiempo de recorrido

Para tiempo de 50 días:

$$A = \frac{1.728 \frac{m^3}{d} * 50d}{3.2m * 0.1} = 270 \text{ m}$$

Para tiempo de 400 días:

$$A = \frac{1.728 \frac{m^3}{d} * 400d}{3.2m * 0.1} = 2160 \text{ m}$$

El radio para ciertos tiempos de recorrido será:

$$r = \sqrt{\frac{Q * t}{\pi * b * n}}$$

Para tiempo de 50 días:

$$r = \sqrt{\frac{1.728 \frac{m^3}{d} * 50d}{\pi * 3.2m * 0.1}}$$

$$r = 9.27m$$

Para tiempo de 400 días:

$$r = \sqrt{\frac{1.728 \frac{m^3}{d} * 400d}{\pi * 3.2m * 0.1}}$$

$$r = 26.22m$$

- SOLUCIONES ANALÍTICAS – ALJIBE LAS MONAS

El ancho máximo de la zona de captura aguas arriba esta dado por:

$$Y_1 = \frac{Q}{2 * K * b * i}$$

donde:

K: Conductividad hidráulica del acuífero

i: Gradiente hidráulico en la dirección x.

Para nuestro caso:

K: 3.6 m/d

i: 0.001

$$Y_1 = \frac{1.728 \frac{m^3}{d}}{2 * 3.6 \frac{m}{d} * 3.2m * 0.001}$$

$$Y_1 = 75m$$

La distancia al punto de estancamiento esta dado por:

$$X_1 = \frac{Q}{2 * \pi * K * b * i}$$

$$X_1 = \frac{1.728 \frac{m^3}{d}}{2 * \pi * 3.6 \frac{m}{d} * 3.2m * 0.001}$$

$$X_1 = 23.87m$$

La velocidad del flujo de agua subterránea, esta dada por:

$$v_{agua} = \frac{K * i}{n}$$

$$v_{agua} = \frac{3.6 \frac{m}{d} * 0.001}{0.1}$$

$$v_{agua} = 0.036 \frac{m}{d}$$

El espacio para 50 y 400 días será:

$$S = v_{agua} * tiempo$$

$$S_{50d} = 0.036 \frac{m}{d} * 50d = 1.8m$$

$$S_{400d} = 0.036 \frac{m}{d} * 400d = 14.4m$$

- MÉTODO MANUAL - ALJIBE LOS BEBEDEROS

$$A = \frac{Q}{R}$$

Donde:

A: es el área del pozo.

Q: es la extracción autorizada diaria.

R: es la recarga diaria efectiva

$$A = \frac{17.28 \frac{m^3}{d}}{5.44 \times 10^{-5} \frac{m}{d}} = 317647.05m^2$$

El radio de esta zona circular será:

$$r = \sqrt{\frac{Q}{\pi \times R}}$$

$$r = \sqrt{\frac{17.28 \frac{m^3}{d}}{\pi \times 5.44 \times 10^{-5} \frac{m}{d}}} = 317.97m$$

Tomando como espesor para este aljibe 1.02 m y una porosidad de 0.1 para tiempos de 50 y 400 días, tenemos

$$A = \frac{Q \times t}{b \times n}$$

A: Área de las zonas de tiempo de recorrido (50 y 400 días)

b: Espesor del acuífero

n: porosidad efectiva

t: tiempo de recorrido

Para tiempo de 50 días:

$$A = \frac{17.28 \frac{m^3}{d} * 50d}{1.02m * 0.1} = 8470.59 \text{ m}$$

Para tiempo de 400 días:

$$A = \frac{17.28 \frac{m^3}{d} * 400d}{1.02m * 0.1} = 67764.71 \text{ m}$$

El radio para ciertos tiempos de recorrido será:

$$r = \sqrt{\frac{Q * t}{\pi * b * n}}$$

Para tiempo de 50 días:

$$r = \sqrt{\frac{17.28 \frac{m^3}{d} * 50d}{\pi * 1.02m * 0.1}}$$

$$r = 51.93m$$

Para tiempo de 400 días:

$$r = \sqrt{\frac{17.28 \frac{m^3}{d} * 400d}{\pi * 1.02m * 0.1}}$$

$$r = 146.87m$$

- SOLUCIONES ANALÍTICAS – ALJIBE LOS BEBEDEROS.

El ancho máximo de la zona de captura aguas arriba esta dado por:

$$Y_1 = \frac{Q}{2 * K * b * i}$$

donde:

K: Conductividad hidráulica del acuífero

i: Gradiente hidráulico en la dirección x.

Para nuestro caso:

K: 3.6 m/d

i: 0.001

$$Y_1 = \frac{17.28 \frac{m^3}{d}}{2 * 3.6 \frac{m}{d} * 1.02m * 0.001}$$

$$Y_1 = 2352.94m$$

La distancia al punto de estancamiento esta dado por:

$$X_1 = \frac{Q}{2 * \pi * K * b * i}$$

$$X_1 = \frac{17.28 \frac{m^3}{d}}{2 * \pi * 3.6 \frac{m}{d} * 1.02m * 0.001}$$

$$X_1 = 748.96m$$

La velocidad del flujo de agua subterránea, esta dada por:

$$v_{agua} = \frac{K * i}{n}$$

$$v_{agua} = \frac{3.6 \frac{m}{d} * 0.001}{0.1}$$

$$v_{agua} = 0.036 \frac{m}{d}$$

El espacio para 50 y 400 días será:

$$S = v_{agua} * tiempo$$

$$S_{50d} = 0.036 \frac{m}{d} * 50d = 1.8m$$

$$S_{400d} = 0.036 \frac{m}{d} * 400d = 14.4m$$

TABLA 9. INDICES ESTACIONALES

		Blaney – Criddle		Garcia - Lopez		Thornthwaite		Turc		Hargreaves		Christiansen		Penman	
Meses	Indice de EV	Indice ETP		Indice ETP		Indice ETP		Indice ETP		Indice ETP		Indice ETP		Indice ETP	
Enero	108.9	95.9	13.0	80.0	28.9	93.3	15.6	103.27	5.65	105.4	3.6	114.2	5.3		
Febrero	102.8	91.4	11.4	93.2	9.6	92.5	10.2	98.14	4.61	95.4	7.3	100.2	2.6	97.8	5.0
Marzo	115.5	103.0	12.5	112.0	3.5	105.5	10.0	106.42	9.05	105.0	10.5	106.9	8.5		
Abril	94.1	102.1	8.0	107.5	13.3	104.1	10.0	99.64	5.50	89.8	4.4	90.2	4.0	105.1	11.0
Mayo	95.1	106.4	11.3	117.4	22.3	108.6	13.5	97.51	2.40	101.5	6.4	93.1	1.9	103.6	8.5
Junio	92.4	101.9	9.5	108.8	16.3	101.1	8.7	97.27	4.80	103.4	10.9	94.3	1.9	94.4	1.9
Julio	96.6	103.8	7.2	103.8	7.2	100.4	3.8	97.66	1.00	109.6	13.0	107.4	10.7	105.0	8.4
Agosto	100.2	103.7	3.5	110.1	9.8	101.4	1.2	98.18	2.06	110.4	10.2	109.3	9.0	109.3	9.1
Septiembre	97.6	98.3	0.7	100.5	2.9	97.2	0.4	100.37	2.80	99.0	1.4	98.3	0.7		
Octubre	97.5	101.6	4.1	99.9	2.4	102.4	5.0	100.08	2.60	94.7	2.8	93.2	4.3	103.5	6.0
Noviembre	100.0	95.8	4.2	90.3	9.7	99.1	0.9	102.85	2.90	89.2	10.8	92.2	7.8	92.1	7.9
Diciembre	98.8	96.2	2.6	76.7	22.1	94.3	4.5	98.61	0.19	96.7	2.1	100.7	1.9	89.2	9.6
TOTAL			87.9		148.0		83.8		43.56		83.4		58.6		67.3
PROMEDIO			7.3		12.3		7.0		3.63		6.9		4.9		7.5

TABLA 11. REGISTROS DE CAUDALES SIMULADOS – AÑO 1994

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0.21	0.08	0.15	1.73	0.57	1.57	0.44	0.33	0.44	1.28	1.14	1.44
2	0.21	0.08	0.15	1.73	0.57	1.90	0.44	0.33	0.44	1.03	1.14	1.42
3	0.21	0.08	0.11	0.50	0.57	1.90	0.33	0.33	0.44	0.53	1.28	1.42
4	0.21	0.08	0.11	0.64	0.57	2.53	0.33	0.38	0.41	0.38	1.42	1.28
5	0.21	0.08	0.11	0.73	0.50	2.31	0.64	0.44	0.36	0.38	3.68	1.14
6	0.21	1.14	0.11	2.31	0.50	3.31	0.64	0.44	0.27	0.36	0	1.14
7	0.21	1.14	0.15	2.31	0.50	2.53	0.64	0.44	0.23	0.18	0	0.82
8	0.91	0.64	0.15	2.31	0.29	2.53	0.64	0.38	0.22	0.57	0	0.82
9	0.91	0.64	0.15	0.64	0.29	2.53	1.90	0.38	0.17	0.73	0	0.91
10	0.91	0.29	0.15	0.57	0.29	1.42	1.90	0.38	0.14	1.14	0	0.64
11	0.91	0.29	0.15	0.57	0.50	1.42	1.90	0.38	0.22	1.35	0	0.64
12	0.91	0.29	0.15	0.57	0.50	1.42	1.14	0.41	0.36	0.00	0	0.57
13	0.29	0.29	0.15	0.44	0.50	1.28	1.14	0.44	0.18	4.08	5.60	0.57
14	0.29	0.21	0.15	0.44	0.64	1.28	1.14	0.44	0.17	2.53	4.42	0.43
15	1.14	0.21	0.15	0.44	0.64	1.28	1.14	0.44	0.11	1.90	2.90	0.29
16	1.14	0.11	0.15	0.44	0.64	0.50	0.91	0.44	0.07	1.42	2.22	0.29
17	1.14	0.11	0.15	0.44	1.28	0.50	1.03	0.44	0.09	1.14	1.90	0.27
18	1.03	0.15	0.15	0.33	1.28	0.50	1.03	0.50	0.13	2.75	3.24	0.33
19	0.29	0.15	0.15	0.33	1.42	0.50	3.02	0.50	0.16	0.00	4.59	0.29
20	0.29	0.15	0.15	0.38	1.42	0.57	3.02	0.50	0.17	0.00	3.31	0.18
21	0.29	0.15	0.15	0.38	1.28	0.57	2.78	0.64	0.14	0.00	3.31	0.18
22	0.29	0.15	0.07	0.29	1.28	0.64	1.73	0.64	0.06	4.25	2.78	0.18
23	0.29	0.15	0.07	0.29	1.28	0.64	1.65	0.64	0.05	0.00	2.21	0.18
24	0.29	0.15	0.07	0.29	1.57	1.90	1.57	0.57	0.05	0	2.42	0.33
25	0.11	0.15	0.07	0.64	1.57	1.90	1.57	0.57	2.10	0	3.61	0.33
26	0.11	0.15	0.07	0.64	1.57	0.91	1.57	0.50	3.01	0	3.76	0.33
27	0.11	0.15	0.07	0.64	1.03	0.91	1.57	0.50	4.99	0	2.90	0.27
28	0.09	0.15	0.07	0.64	1.14	0.91	1.42	0.44	4.59	4.42	2.53	0.15
29	0.08		0.07	0.64	1.14	0.82	0.85	0.44	1.65	3.31	2.00	0.09
30	0.08		0.25	0.64	1.42	0.57	0.29	0.44	1.28	2.53	1.73	0.08
31	0.08		0.25		1.42		0.33	0.44		2.10		0.12
SUMA	13.50	7.41	4.05	22.96	28.15	41.55	38.70	14.11	22.67	38.38	64.09	17.13
Promedio	0.44	0.27	0.13	0.77	0.91	1.39	1.25	0.46	0.76	1.24	2.14	0.55

TABLA 12. REGISTROS DE CAUDALES SIMULADOS – AÑO 1982

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	1.07	0.25	0.71	1.01	7.94	4.67	0.68	0.79	0.28	0.63	0.89	1.37
2	1.09	0.28	0.68	0.99	7.94	3.17	0.63	0.76	0.25	0.59	1.77	1.35
3	1.14	0.28	0.66	0.96	7.84	3.15	0.74	0.76	0.25	0.54	2.46	1.34
4	1.16	0.28	0.59	0.92	7.71	3.10	0.97	0.74	0.25	0.61	2.25	1.25
5	1.22	0.33	0.71	1.82	5.60	3.04	0.99	0.71	0.23	0.59	1.87	1.17
6	1.25	0.33	0.68	2.25	5.70	2.72	1.11	0.71	0.23	0.48	1.85	1.09
7	1.25	0.33	0.63	2.29	5.18	2.64	1.06	0.68	0.18	4.31	1.80	1.06
8	1.14	0.33	0.63	2.51	5.13	2.56	1.14	0.66	0.18	4.94	1.73	1.11
9	1.09	0.28	0.63	2.28	5.07	2.51	1.09	0.61	0.18	5.13	1.70	1.45
10	1.06	0.26	0.59	2.33	4.28	3.30	1.09	0.54	0.17	5.07	1.63	1.24
11	0.97	0.25	0.59	2.33	4.16	3.65	1.06	0.54	2.08	3.65	1.63	1.11
12	0.76	0.25	0.54	2.29	4.11	3.65	1.06	0.58	1.87	2.64	1.35	1.06
13	0.69	0.36	0.51	2.25	3.17	3.17	1.09	0.59	0.63	0.43	1.29	1.01
14	0.68	0.54	0.51	2.23	3.17	2.94	0.84	0.48	0.41	1.82	0.84	0.96
15	0.63	0.71	0.48	2.21	3.10	2.71	1.01	0.25	0.48	1.25	1.04	0.89
16	0.59	0.76	0.48	2.51	3.09	2.66	0.97	0.25	0.59	0.83	1.34	0.88
17	0.63	1.06	0.43	2.97	3.04	2.21	0.89	0.26	0.51	1.25	1.52	0.79
18	0.63	1.14	0.40	3.17	3.17	2.16	0.84	0.31	0.50	0.96	1.63	0.84
19	0.43	1.17	0.36	4.01	3.43	2.15	0.84	0.33	0.51	3.78	1.70	0.79
20	0.36	0.71	0.48	3.96	3.65	2.01	0.84	0.36	0.43	5.20	1.65	0.76
21	0.33	0.71	0.51	3.55	3.70	1.95	0.89	0.40	0.40	5.98	1.62	0.84
22	0.25	0.68	0.58	3.17	3.73	1.45	0.88	0.43	0.40	4.59	1.65	1.04
23	0.28	0.68	0.74	3.10	3.80	1.45	0.84	0.40	0.25	4.23	1.62	1.17
24	0.33	0.59	0.84	3.12	3.86	1.45	0.92	0.36	0.20	3.81	1.57	1.06
25	0.36	0.63	0.89	6.08	3.90	1.47	0.91	0.36	0.17	3.50	1.62	0.89
26	0.43	0.63	0.84	3.37	4.06	1.14	0.88	0.36	0.15	2.72	1.45	0.79
27	0.46	0.68	1.50	3.32	4.16	1.09	0.89	0.36	0.38	2.69	1.87	0.78
28	0.35	0.68	1.54	2.81	4.28	1.09	0.84	0.33	0.41	2.51	1.82	0.79
29	0.36		1.34	3.24	4.39	1.06	0.83	0.28	0.43	1.87	1.78	0.84
30	0.33		1.07	3.65	4.49	0.63	0.79	0.28	0.48	1.45	1.77	0.89
31	0.28		1.06		4.61		0.79	0.28		1.17		0.84
SUMA	21.61	15.17	22.11	80.68	141.46	70.96	28.40	14.78	13.46	79.23	48.70	31.45
Promedio	0.70	0.49	0.71	2.60	4.56	2.29	0.92	0.48	0.43	2.56	1.57	1.01

TABLA 15. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

NUMERO	NOMBRE DEL ALJIBE	COORDENADAS		PROF (m)	ESPESOR (m)	Q (l/s)	GEOLOGIA	SUELOS
		X	Y					
1	Monroy	1032370	979.89	4	1.35	0.01	QTA	Alban-TN
2	El recuerdo	1032290	983.885	5	3.3	0.1	QTA	Cota-Funza
3	moraleja	1030840	980.365	4	3.68	0.02	QTA	Alban-TN
4	La unión	1030620	980.55	7.1	4.14	0.2	QTA	Alban-TN
5	San Antonio	1030770	980.69	7.3	2.4	0.01	QTA	Alban-TN
6	La porquera	1030240	984.33	7.8	6.7	0.01	QTA	Cota-Funza
7	la Lumbre	1038600	992.1	17	6.7	0.5	QAL	TN-Cabrera
8	San Carlos 1	1036230	987.16	36	1.5	0.1	QAL	Cota-Funza
9	Santa Carolina	1033670	988.165	12	6.9	0.6	QAL	Cota-Funza
10	estrella del norte 1	1032050	986.275	8	4.3	0.1	QTA	Cota-Funza
11	San vicente	1031710	985.88	9.6	8.2	0.1	QTA	Cota-Funza
12	Cantimplora	1030910	987.88	8.93	7.9	0.2	QAL	Rio Bta-Ubate
13	Las Lomitas	1038700	992.315	11	3.5	0.3	QAL	Rio Bta-Ubate
14	El Palmar	1038570	989.58	48	23.6	0.1	QTA	TN-Cabrera
15	Sintra	1031300	987.86	6.1	3.51	0.2	QAL	Rio Bta-Ubate
16	Casa amarilla	1031230	987.98	8	6.5	0.3	QAL	Rio Bta-Ubate
17	Albarella	1035970	987.55	14.5	4.95	0.3	QTA	Cota-Funza
18	Zorrocota 2	1035430	988.41	8.6	3.85	0.5	QTA	Cota-Funza
19	Las Monas	1029700	980.295	6	3.2	0.02	QTA	Cota-Funza
20	Santa Maria	1029820	981.775	4	2.3	0.01	QAL	Cota-Funza
21	El Vergel	1028080	978.09	5.5	2.9	0.01	QTA	Cota-Funza
22	San Ignacio	1028150	978.16	5.5	3.59	0.01	QTA	Cota-Funza
23	El Bosque	1028070	978.485	6	4	0.01	QTA	Cota-Funza
24	El recuerdo 1	1028240	978.72	7	3.3	0.01	QAL	Cota-Funza
25	Radio Nacional	1028720	979.03	6.1	3.04	0.02	QTA	Cota-Funza
26	Radio Nacional	1028750	979.11	2.3	3.04	0.02	QTA	Cota-Funza
27	Inravisión #3	1028900	979.46	13.04	10.1	0.01	QAL	Cota-Funza
28	Barrio Lleras	1028070	979.795	4.6	2.56	0.01	QAL	Cota-Funza
29	Las mandas	1028300	980.4	4.2	1.7	0.01	QTA	Cota-Funza
30	Los 3 Amigos	1028930	980.46	4.5	1.85	0.01	QTA	Cota-Funza
31	Chorlavi	1028240	984.565	6	2.85	0.01	QTA	Cota-Funza
32	San Jose	1027520	978.28	4.13	2.1	0.2	QTA	Cota-Funza
33	Yadira	1027240	978.365	6.7	3.3	0.02	QTA	Cota-Funza
34	San Pascual	1027960	978.65	10.9	2.06	0.02	QAL	Cota-Funza
35	Barrio San Jose	1027330	979.84	7.4	4.25	0.01	QAL	Cota-Funza
36	Santa Teresa	1027150	979.895	6.5	2.17	0.2	QTA	Cota-Funza
37	Los Tamarindos	1027770	984.265	6.5	4.1	0.01	QTA	Cota-Funza
38	Los Lagos	1026860	978.625	6.5	3.3	0.01	QTA	Cota-Funza
39	Los Vagones	1026880	980	5.6	3.05	0.01	QTA	Cota-Funza
40	La Providencia	1026560	980.19	4	3.4	0.02	QTA	Cota-Funza
41	Los Pozos	1026530	980.435	5.5	2.3	0.4	QTA	Cota-Funza
42	Piquet. Los Troncos	1026630	980.535	6	1.42	0.2	QTA	Cota-Funza
43	Santa Rosa II	1025580	976672	6.6	2.32	0.01	QAL	Cota-Funza
NUMERO	NOMBRE DEL ALJIBE	COORDENADAS		PROF (m)	ESPESOR (m)	Q (l/s)	GEOLOGIA	SUELOS
		X	Y					
44	Santa Lucia	1025740	979.84	4.5	2.5	0.02	QTA	Rio Bta-Ubate

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN DE LOS ALJIBES EN LA CUENCA DEL RÍO SUBACHOQUE

45	Mocari	1025710	981.79	5	1.9	0.02	QTA	Rio Bta-Ubate
46	San Isidro	1024750	976.41	5.45	2.3	0.01	QTA	Cota-Funza
47	Las Mercedes #1	1024270	980.1	5	2.7	0.2	QTA	Cota-Funza
48	Rosas Colombianas	1024360	980.81	3	1.85	0.01	QTA	Cota-Funza
49	San Nasario	1024730	981.715	6	3.05	1	QAL	Cota-Funza
50	Icein Ltda	1024660	983.27	7	4.8	0.5	QTA	Cota-Funza
51	Ambalema	1024100	983.815	4.5	2.22	0.05	QTA	Cota-Funza
52	La Esmeralda	1023790	983.855	6	3.82	0.3	QTA	Cota-Funza
53	El Pino	1022500	975.3	3.5	2.3	0.01	QTA	Cota-Funza
54	Los Bebederos	1022320	983.65	4	1.02	0.2	QTA	Rio Bta-Ubate
55	La Esmeralda	1020400	973.6	4.6	2	0.01	QTA	Cota-Funza
56	Las Margaritas	1022100	975.7	4.5	4.25	0.01	QTA	Cota-Funza
57	El Moyano	1022330	975.58	5.29	2.13	0.01	QTA	Cota-Funza
58	Montecillos	1025280	976.8	5.1	3.56	0.01	QAL	Cota-Funza
59	El Vinculo	1024020	976.7	4.53	3.52	0.01	QTA	Cota-Funza
60	El Zafiro	1023600	977.05	4.28	1.85	0.01	QAL	Rio Bta-Ubate
61	El Cruce	1020850	978.52	3.5	3.14	0.01	QTA	Rio Bta-Ubate
62	Las Mercedes	1024240	979.98	5	2.2	0.1	QAL	Rio Bta-Ubate
63	I.Ag. Elena Olozaga	1026120	984.725	6.5	1.12	0.2	QTA	Cota-Funza
64	Zelandia 3	1019370	976.77	5.6	2	0.1	QTA	Cota-Funza
65	El Porvenir 1	1018420	977.34	8.5	90	0.5	QTA	Rio Bta-Ubate
66	Los Sauces	1018080	979.9	5	3.8	0.05	QTA	Cota-Funza
67	El Boyero	1018840	981.405	15	1.1	0.1	QAL	Rio Bta-Ubate
68	San Luis	1017670	974.97	10	1.5	0.1	QTA	Cota-Funza
69	San Camilo	1017380	975.53	8	3.2	0.05	QTA	Cota-Funza
70	Santa Teresa 1	1017650	975.54	3	2.1	0.1	QTA	Cota-Funza
71	Campo Bello 4	1017260	975.67	4	2.6	0.1	QTA	Cota-Funza
72	Santa Teresa 2	1017710	975.68	8	2	0.5	QTA	Cota-Funza
73	Laguna Larga	1016050	976.72	4	50	0.5	QTA	Cota-Funza
74	Diosa Primavera	1015640	979.865	2	0.5	0.01	QAL	Cota-Funza
75	Las Delicias	1015410	980	4	1.3	0.01	QAL	Cota-Funza
76	San Pedro	1015400	980.61	2.5	1.8	0.01	QTA	Cota-Funza
77	Estacion Mobil	1014550	980.2	8	3	0.05	QTA	Cota-Funza
78	Campo Bello 6	1017600	976.03	8	3.1	0.05	QTA	Cota-Funza
79	Campo Bello 7	1017480	976.1	7	2.7	0.05	QTA	Cota-Funza
80	Campo Bello 5	1017320	975.71	7	2.5	0.1	QTA	Cota-Funza
81	Jardin de los Andes 1	1016320	977.4	12	2	0.8	QTA	Cota-Funza
82	Las Acacias	1018300	977.35	10	4	0.1	QTA	Rio Bta-Ubate
83	Zelandia 5	1019450	976.64	6	4	0.1	QTA	Cota-Funza
84	La Gloria	1017680	975.02	15	9	0.05	QTA	Cota-Funza

TABLA 16
MÉTODOS MANUALES Y SOLUCIONES ANALÍTICAS DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN

Nº	NOMBRE	Espesor (m)	Q (m ³ /d)	A (m ²)	r m	A - 50 m ²	A - 400 m ²	Radio- 50 m	Radio- 400 m	Y m	X m
1	Monrroy	1.35	0.864	15875.16	71.09	320.00	2560.00	10.09	28.55	88.89	28.29
2	El recuerdo	3.3	8.64	158751.57	224.79	1309.09	10472.73	20.41	57.74	363.64	115.75
3	moraleja	3.68	1.728	31750.31	100.53	234.78	1878.26	8.64	24.45	65.22	20.76
4	La unión	4.14	17.28	317503.15	317.91	2086.96	16695.65	25.77	72.90	579.71	184.53
5	San Antonio	2.4	0.864	15875.16	71.09	180.00	1440.00	7.57	21.41	50.00	15.92
6	La porquera	6.7	0.864	15875.16	71.09	64.48	515.82	4.53	12.81	17.91	5.70
7	la Lumbre	6.7	43.2	793757.87	502.65	3223.88	25791.04	32.03	90.61	805.97	256.54
8	San Carlos 1	1.5	8.64	158751.57	224.79	2880.00	23040.00	30.28	85.64	720.00	229.18
9	Santa Carolina	6.9	51.84	952509.44	550.63	3756.52	30052.17	34.58	97.81	939.13	298.93
10	estrella del norte 1	4.3	8.64	158751.57	224.79	1004.65	8037.21	17.88	50.58	279.07	88.83
11	San vicente	8.2	8.64	158751.57	224.79	526.83	4214.63	12.95	36.63	146.34	46.58
12	Cantimplora	7.9	17.28	317503.15	317.91	1093.67	8749.37	18.66	52.77	273.41	87.03
13	Las Lomitas	3.5	25.92	476254.72	389.35	3702.86	29622.86	34.33	97.10	925.71	294.66
14	El Palmar	23.6	8.64	158751.57	224.79	183.05	1464.41	7.63	21.59	50.85	16.19
15	Sintra	3.51	17.28	317503.15	317.91	2461.54	19692.31	27.99	79.17	615.38	195.88
16	Casa amarilla	6.5	25.92	476254.72	389.35	1993.85	15950.77	25.19	71.26	498.46	158.66
17	Albarella	4.95	25.92	476254.72	389.35	2618.18	20945.45	28.87	81.65	727.27	231.50
18	Zorrocota 2	3.85	43.2	793757.87	502.65	5610.39	44883.12	42.26	119.53	1558.44	496.07
19	Las Monas	3.2	1.728	31750.31	100.53	270.00	2160.00	9.27	26.22	75.00	23.87
20	Santa Maria	2.3	0.864	15875.16	71.09	187.83	1502.61	7.73	21.87	46.95	14.94
21	El Vergel	2.9	0.864	15875.16	71.09	148.97	1191.72	6.89	19.48	41.38	13.17
22	San Ignacio	3.59	0.864	15875.16	71.09	120.33	962.67	6.19	17.51	33.43	10.64
23	El Bosque	4	0.864	15875.16	71.09	108.00	864.00	5.86	16.58	30.00	9.55
24	El recuerdo1	3.3	0.864	15875.16	71.09	130.91	1047.27	6.46	18.26	32.72	10.41
25	Radio Nacional	3.04	1.728	31750.31	100.53	284.21	2273.68	9.51	26.90	78.95	25.13
26	Radio Nacional	3.04	1.728	31750.31	100.53	284.21	2273.68	9.51	26.90	78.95	25.13
Nº	NOMBRE	Espesor (m)	Q (m ³ /d)	A (m ²)	r m	A - 50 m ²	A - 400 m ²	Radio- 50 m	Radio- 400 m	Y m	X m
27	Inravisión #3	10.1	0.864	15875.16	71.09	42.77	342.18	3.69	10.44	10.70	3.40
28	Barrio Lleras	2.56	0.864	15875.16	71.09	168.75	1350.00	7.33	20.73	42.18	13.42
29	Las mandas	1.7	0.864	15875.16	71.09	254.12	2032.94	8.99	25.44	70.59	22.47
30	Los 3 Amigos	1.85	0.864	15875.16	71.09	233.51	1868.11	8.62	24.39	64.86	20.65
31	Chorlavi	2.85	0.864	15875.16	71.09	151.58	1212.63	6.95	19.65	42.11	13.40
32	San Jose	2.1	17.28	317503.15	317.91	4114.29	32914.29	36.19	102.36	1142.86	363.78
33	Yadira	3.3	1.728	31750.31	100.53	261.82	2094.55	9.13	25.82	72.73	23.15
34	San Pascual	2.06	1.728	31750.31	100.53	419.42	3355.34	11.55	32.68	104.85	33.37
35	Barrio San Jose	4.25	0.864	15875.16	71.09	101.65	813.18	5.69	16.09	25.41	8.08
36	Santa Teresa	2.17	17.28	317503.15	317.91	3981.57	31852.53	35.60	100.69	1105.99	352.05
37	Los Tamarindos	4.1	0.864	15875.16	71.09	105.37	842.93	5.79	16.38	29.27	9.32

DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN DE LOS ALJIBES EN LA CUENCA DEL RÍO SUBACHOQUE

38	Los Lagos	3.3	0.864	15875.16	71.09	130.91	1047.27	6.46	18.26	36.36	11.57
39	Los Vagones	3.05	0.864	15875.16	71.09	141.64	1133.11	6.71	18.99	39.34	12.52
40	La Providencia	3.4	1.728	31750.31	100.53	254.12	2032.94	8.99	25.44	70.59	22.47
41	Los Pozos	2.3	34.56	635006.29	449.59	7513.04	60104.35	48.90	138.32	2086.96	664.30
42	Piquet. Los Troncos	1.42	17.28	317503.15	317.91	6084.51	48676.06	44.01	124.48	1690.14	537.99
43	Santa Rosa II	2.32	0.864	15875.16	71.09	186.21	1489.66	7.70	21.78	46.55	14.81
44	Santa Lucia	2.5	1.728	31750.31	100.53	345.60	2764.80	10.49	29.67	96.00	30.56
45	Mocari	1.9	1.728	31750.31	100.53	454.74	3637.89	12.03	34.03	126.32	40.21
46	San Isidro	2.3	0.864	15875.16	71.09	187.83	1502.61	7.73	21.87	52.17	16.61
47	Las Mercedes #1	2.7	17.28	317503.15	317.91	3200.00	25600.00	31.92	90.27	888.89	282.94
48	Rosas Colombianas	1.85	0.864	15875.16	71.09	233.51	1868.11	8.62	24.39	64.86	20.65
49	San Nasario	3.05	86.4	1587515.73	710.86	14163.93	113311.48	67.15	189.92	3540.98	1127.12
50	Icein Ltda	4.8	43.2	793757.87	502.65	4500.00	36000.00	37.85	107.05	1250.00	397.89
51	Ambalema	2.22	4.32	79375.79	158.95	972.97	7783.78	17.60	49.78	270.27	86.03
52	La Esmeralda	3.82	25.92	476254.72	389.35	3392.67	27141.36	32.86	92.95	942.41	299.98
53	El Pino	2.3	0.864	15875.16	71.09	187.83	1502.61	7.73	21.87	52.17	16.61
54	Los Bebederos	1.02	17.28	317503.15	317.91	8470.59	67764.71	51.93	146.87	2352.94	748.96
55	La Esmeralda	2	0.864	15875.16	71.09	216.00	1728.00	8.29	23.45	60.00	19.10
Nº	NOMBRE	Espesor	Q	A	r	A - 50	A - 400	Radio-50	Radio-400	Y	X
		(m)	(m³/d)	(m²)	m	m²	m²	m	m	m	m
56	Las Margaritas	4.25	0.864	15875.16	71.09	101.65	813.18	5.69	16.09	28.24	8.99
57	El Moyano	2.13	0.864	15875.16	71.09	202.82	1622.54	8.03	22.73	56.34	17.93
58	Montecillos	3.56	0.864	15875.16	71.09	121.35	970.79	6.22	17.58	30.33	9.65
59	El Vinculo	3.52	0.864	15875.16	71.09	122.73	981.82	6.25	17.68	34.09	10.85
60	El Zafiro	1.85	0.864	15875.16	71.09	233.51	1868.11	8.62	24.39	58.37	18.58
61	El Cruce	3.14	0.864	15875.16	71.09	137.58	1100.64	6.62	18.72	38.22	12.16
62	Las Mercedes	2.2	8.64	158751.57	224.79	1963.64	15709.09	25.00	70.71	490.91	156.26
63	I.Ag. Elena Olozaga	1.12	17.28	317503.15	317.91	7714.29	61714.29	49.55	140.16	2142.86	682.09
64	Zelandia 3	2	8.64	158751.57	224.79	2160.00	17280.00	26.22	74.16	600.00	190.99
65	El Porvenir 1	90	43.2	793757.87	502.65	240.00	1920.00	8.74	24.72	66.67	21.22
66	Los Sauces	3.8	4.32	79375.79	158.95	568.42	4547.37	13.45	38.05	157.89	50.26
67	El Boyero	1.1	8.64	158751.57	224.79	3927.27	31418.18	35.36	100.00	981.81	312.52
68	San Luis	1.5	8.64	158751.57	224.79	2880.00	23040.00	30.28	85.64	800.00	254.65
69	San Camilo	3.2	4.32	79375.79	158.95	675.00	5400.00	14.66	41.46	187.50	59.68
70	Santa Teresa 1	2.1	8.64	158751.57	224.79	2057.14	16457.14	25.59	72.38	571.43	181.89
71	Campo Bello 4	2.6	8.64	158751.57	224.79	1661.54	13292.31	23.00	65.05	461.54	146.91
72	Santa Teresa 2	2	43.2	793757.87	502.65	10800.00	86400.00	58.63	165.84	3000.00	954.93
73	Laguna Larga	50	43.2	793757.87	502.65	432.00	3456.00	11.73	33.17	120.00	38.20
74	Diosa Primavera	0.5	0.864	15875.16	71.09	864.00	6912.00	16.58	46.91	216.00	68.75
75	Las Delicias	1.3	0.864	15875.16	71.09	332.31	2658.46	10.28	29.09	83.07	26.44
76	San Pedro	1.8	0.864	15875.16	71.09	240.00	1920.00	8.74	24.72	66.67	21.22
77	Estacion Mobil	3	4.32	79375.79	158.95	720.00	5760.00	15.14	42.82	200.00	63.66
78	Campo Bello 6	3.1	4.32	79375.79	158.95	696.77	5574.19	14.89	42.12	193.55	61.61
79	Campo Bello 7	2.7	4.32	79375.79	158.95	800.00	6400.00	15.96	45.14	222.22	70.74
80	Campo Bello 5	2.5	8.64	158751.57	224.79	1728.00	13824.00	23.45	66.33	480.00	152.79
81	Jardin de los Andes 1	2	69.12	1270012.58	635.81	17280.00	138240.00	74.16	209.77	4800.00	1527.88
82	Las Acacias	4	8.64	158751.57	224.79	1080.00	8640.00	18.54	52.44	300.00	95.49
83	Zelandia 5	4	8.64	158751.57	224.79	1080.00	8640.00	18.54	52.44	300.00	95.49
84	La Gloria	9	4.32	79375.79	158.95	240.00	1920.00	8.74	24.72	66.67	21.22

A: Área de la zona de captura A –50: Área para 50 d estancamiento X: Distancia al punto de
 r: Radio de la zona circular A – 400: Área para 400 d de captura Y: Ancho máximo a la zona

Tabla 18. PARÁMETROS INFLUYEN EN LA FORMA Y EL TAMAÑO DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN

PARÁMETRO	INFLUENCIA
Esesor del acuífero	El volumen del agua en el acuífero y la transmisividad están directamente relacionados con el espesor del acuífero. Por lo tanto, el espesor del acuífero afectará directamente el tamaño y la forma de las zonas de protección de tiempo de recorrido. Una disminución del 50% del espesor del acuífero duplicará aproximadamente el área de una zona de protección de tiempo recorrido.
Porosidad efectiva/almacenamiento no confinado.	El almacenamiento no confinado está directamente relacionado con la velocidad usada para calcular los tiempos de recorrido; por lo tanto, tiene una influencia directa en el tamaño y la forma de las zonas de protección del tiempo recorrido. Una disminución del 50% del almacenamiento no confinado duplicará el tamaño de una zona de protección del tiempo recorrido.
Conductividad hidráulica	La conductividad hidráulica influye en la forma, el ancho y la extensión gradiente debajo de las zonas de protección. Un aumento de la conductividad hidráulica disminuye el ancho de la zona de captura de un pozo.
PARÁMETRO	INFLUENCIA
Gradiente hidráulico	El gradiente hidráulico influye en el ancho y la extensión gradiente debajo de la zona de protección. Cuanto mayor es el gradiente hidráulico, más reducida es la zona de protección.

Caudal de extracción	El caudal de extracción influye directamente en el área de las zonas de protección. La interferencia entre los pozos bombeados puede influir marcadamente en la forma de las zonas de protección.
Recarga anual	El caudal de recarga influye directamente en el área en la zona de captura, pero en general tiene relativamente poca influencia en el área de las zonas relacionadas con el tiempo.
Limite – sin flujo Limites – recarga	Los limites sin flujo, las fallas y las divisorias de aguas subterráneas restringen la forma de las zonas de protección. Los limites de recarga influyen en la forma de las zonas de protección y reducen su área, particularmente en las zonas de captura.

Tabla 19. PROBLEMAS RELATIVOS A LOS DATOS DE TERRENO Y SU INFLUENCIA EN LOS MODELOS Y LA DELINEACIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN

PARÁMETRO	TERRENO	Implicación para la delimitación de las zonas de protección
Permeabilidad/ Conductividad hidráulica	Puede que solo se disponga de pruebas de bombeo, para las extracciones de agua subterránea de mayor magnitud, que muy probablemente habrán sido ubicadas en las áreas de mayor permeabilidad. Las pruebas de bombeo pueden haberse realizado en diferentes caudales o duración y los valores derivados pueden ser representativos de diferentes volúmenes del acuífero. Se puede calcular una gama de valores de permeabilidad en base a diferentes métodos de análisis de pruebas de bombeo. Los valores de transmisividad sólo pueden haber sido calculados sin referencia al espesor del acuífero.	Los valores del modelo pueden estar sobreestimados o ser inciertos, lo que conduciría a errores en la delimitación.
Porosidad efectiva/ almacenamiento no confinado	Puede que se disponga de datos limitados. La prueba de bombeo puede haber sido demasiado breve como para permitir determinar con precisión el almacenamiento no confinado y normalmente el almacenamiento determinado a partir del análisis de las pruebas de bombeo subestiman los valores regionales.	Los valores de las pruebas de bombeo puede subestimar las condiciones de terreno, lo que conduciría a la definición de zonas más grandes de lo necesario.
Espesor del acuífero.	Puede que se disponga de datos limitados de la base de la unidad acuífera o el espesor efectivo de la unidad acuífera.	Una estimación incorrecta del espesor del acuífero conduce a errores en el tamaño de las zonas de protección.
PARÁMETRO	TERRENO	Implicación para la delimitación de las zonas de protección

<p>Recarga</p>	<p>La recarga es siempre estimada; cuando el acuífero esta cubierto por otros estratos, se hace más difícil estimar el caudal de recarga. Puede que no se haya considerado la variación de la recarga a través del área del modelo.</p>	<p>Las zonas de captura están directamente relacionadas con el caudal de recarga; los errores de la recarga se traducen en errores de las zonas de captura. La zona de tiempo de recorrido son menos sensibles a los errores de la recarga.</p>
<p>Interacción aguas subterráneas/ Aguas superficiales</p>	<p>Usualmente, la medición en el arroyo/río es limitada y no pueden revelar en detalle la interacción entre el acuífero y el agua superficial.</p>	<p>La interacción entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales en un modelo no puede verificarse mediante la comparación con los datos de terreno.</p>
<p>Niveles de las aguas subterráneas</p>	<p>Las curvas de nivel de las aguas subterráneas se trazan frecuentemente a partir de datos limitados de los niveles hídricos y puede que no representen cabalmente las variaciones en las propiedades del acuífero. Los niveles de agua medidos en un pozo pueden ser más representativos de las condiciones locales, como por ejemplo cuando el piezómetro penetra sólo parcialmente. Los niveles de las aguas subterráneas varían en función del tiempo, en tanto que se asume un estado de equilibrio para la delineación de las zonas de protección.</p>	<p>Un modelo en estado de equilibrio no toma en cuenta las variaciones estacionales. La calibración de un modelo depende de los niveles de las aguas subterráneas interpolados.</p>

TABLA 17 . MATRIZ DE ACEPTABILIDAD DE LAS ACTIVIDADES CON POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN CON RELACIÓN A LAS ZONAS DE PROTECCIÓN

Actividad potencialmente contaminadora que requiere control	Nivel de control requerido				
	Áreas especiales de protección		Resto de la superficie del terreno		
	Zona interior	Zona exterior	Vulnerabilidad		
			Alta	Moderada	Baja
▪ Lagunas de infiltración					
Efluente Industrial	U	PU	PU	PU	PA
Efluente Municipal	U	PU	PU	PU	PA
▪ Eliminación de residuos sólidos por relleno					
Industrial peligroso	U	PU	PU	PU	PU
Domestico Municipal	U	PU	PU	PU	PA
Inerte de construcción	U	PU	PU	PA	PA
Cementerios	U	PU	PU	PA	PA
▪ Excavación de tierra					
Minería profunda	U	U	PU	PU	PA
Minería a rajo abierto y canteras	U	PU	PA	PA	PA
▪ Tanques Sépticos, pozos negros y letrinas					
Propiedades individuales	U	PU	PA	PA	A
▪ Ganadería intensiva					
Efluentes de lagunas	U	PU	PU	PA	PA
Escurrimiento de corrales	U	PU	PU	PA	PA
▪ Aplicación de efluentes al terreno					
Otras industrias	U	PU	PU	PU	PA
Aguas municipales servidas	U	PU	PU	PU	PA
Lodos municipales	U	PU	PU	PU	PA

▪ Locales industriales					
Almacenamiento de químicos líquidos	U	PA	PA	PA	A
Almacenamiento de combustible hidrocarburo.	U	PA	PA	PA	A
Almacenamiento de químicos sólidos	U	PA	PA	PA	A
▪ Drenaje por infiltración					
Carreteras secundarias, áreas de recreación.	U	PA	PA	A	A
Áreas de estacionamiento	U	PU	PA	PA	A
Carreteras principales	U	PA	PA	A	A
Áreas industriales	U	PU	PU	PU	PA

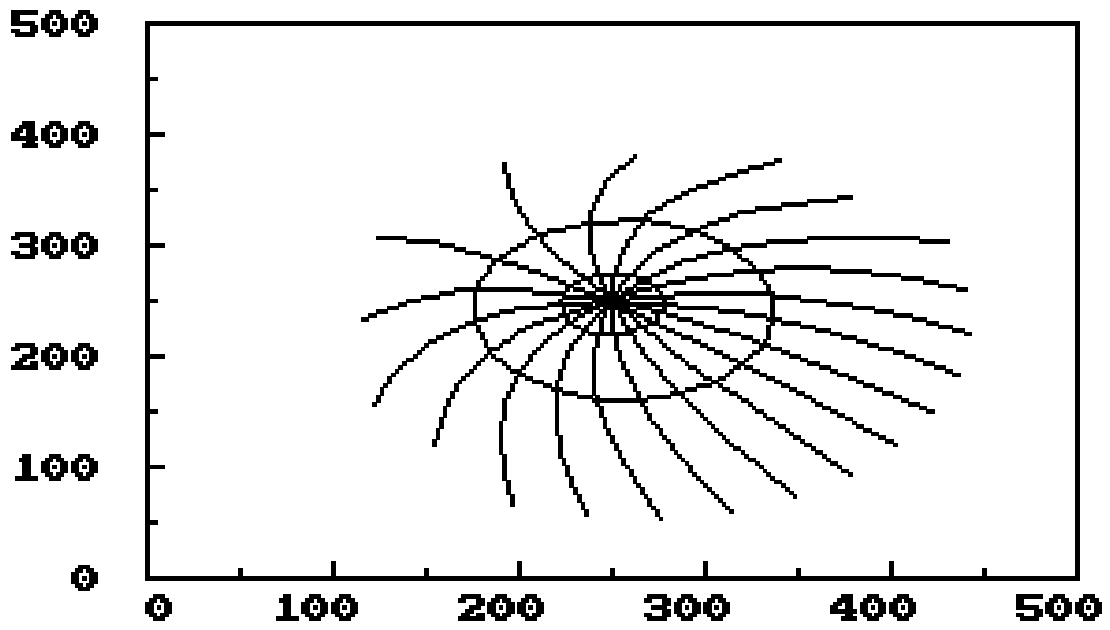
U No aceptable virtualmente en todos los casos

PU Probablemente no aceptable, excepto en algunos casos sujetos a una investigación detallada a un diseño especial.

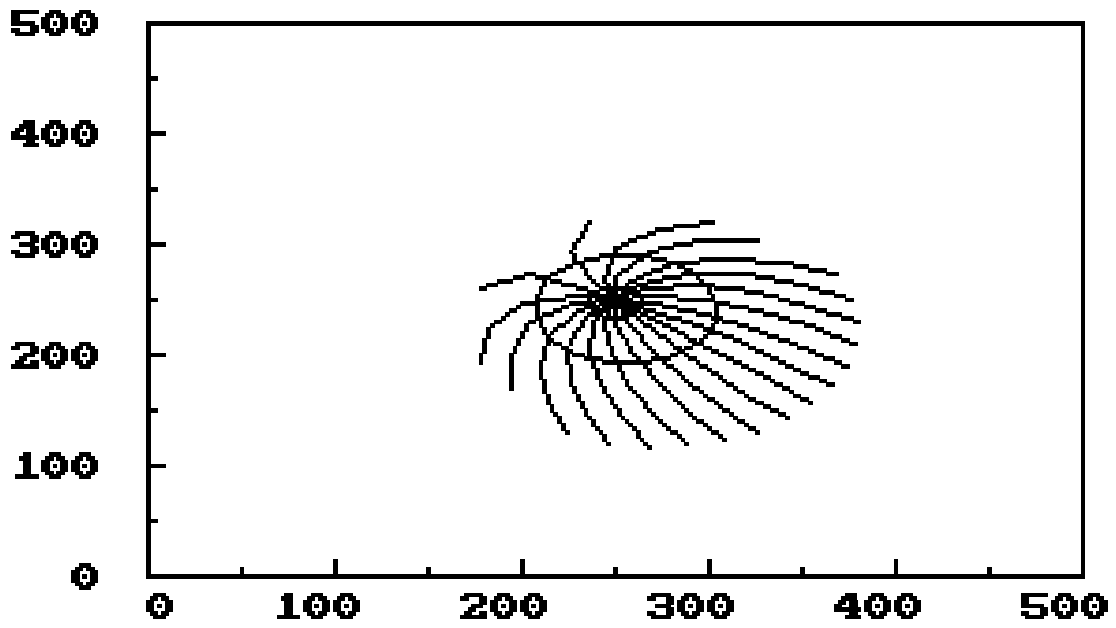
PA Probablemente aceptable, sujeto a investigación y diseño específico.

A Aceptable, sujeto a diseño estándar.

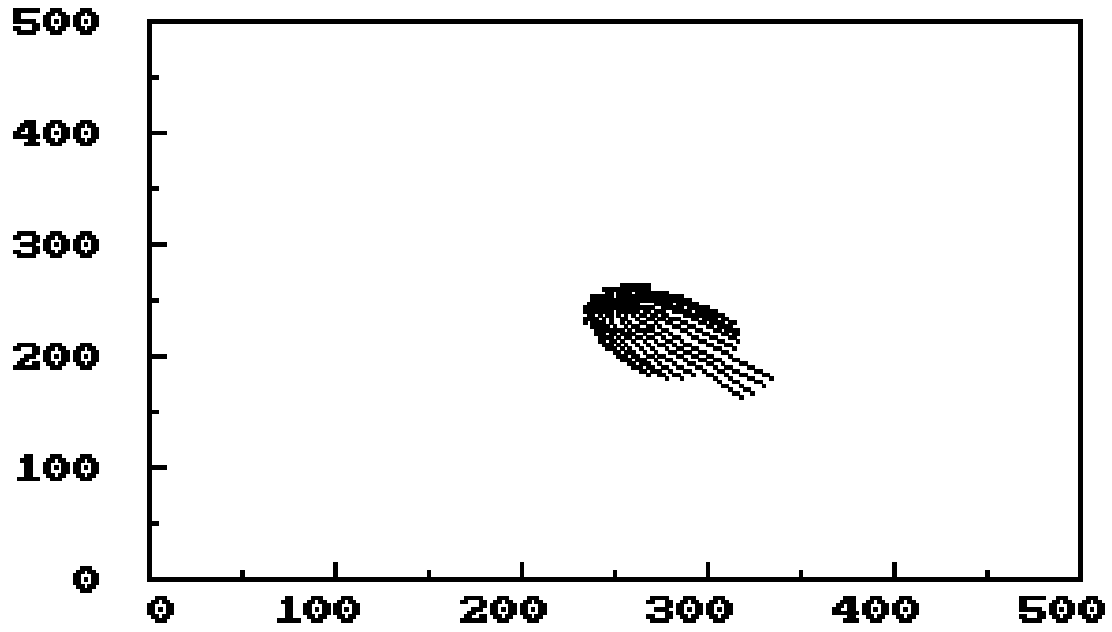
ALJIBE ALBARELLA



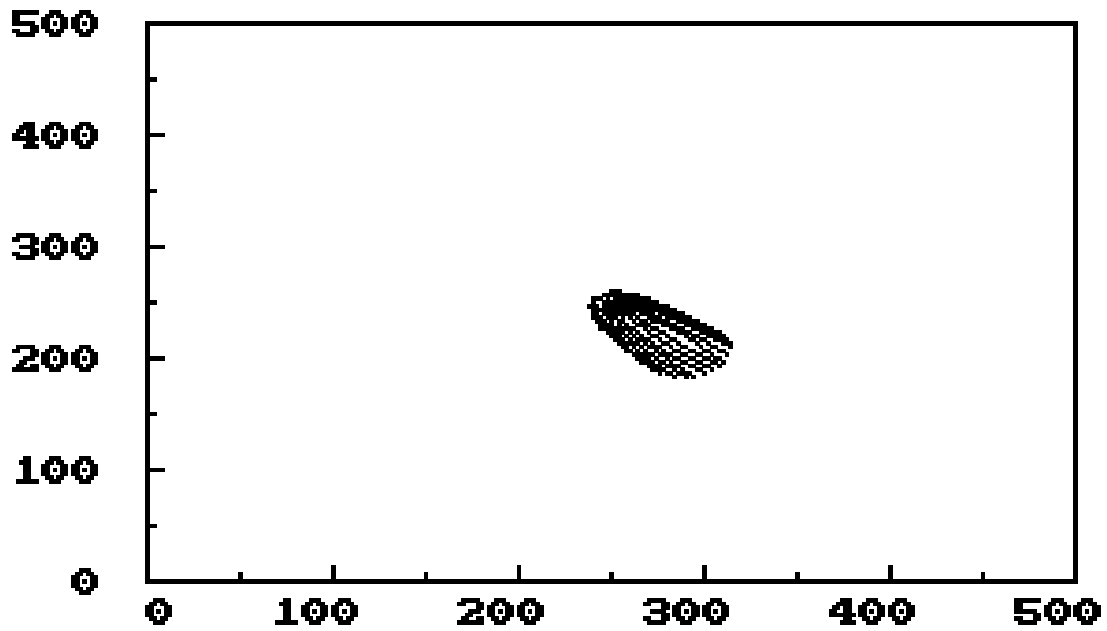
ALJIBE AMBALEMA



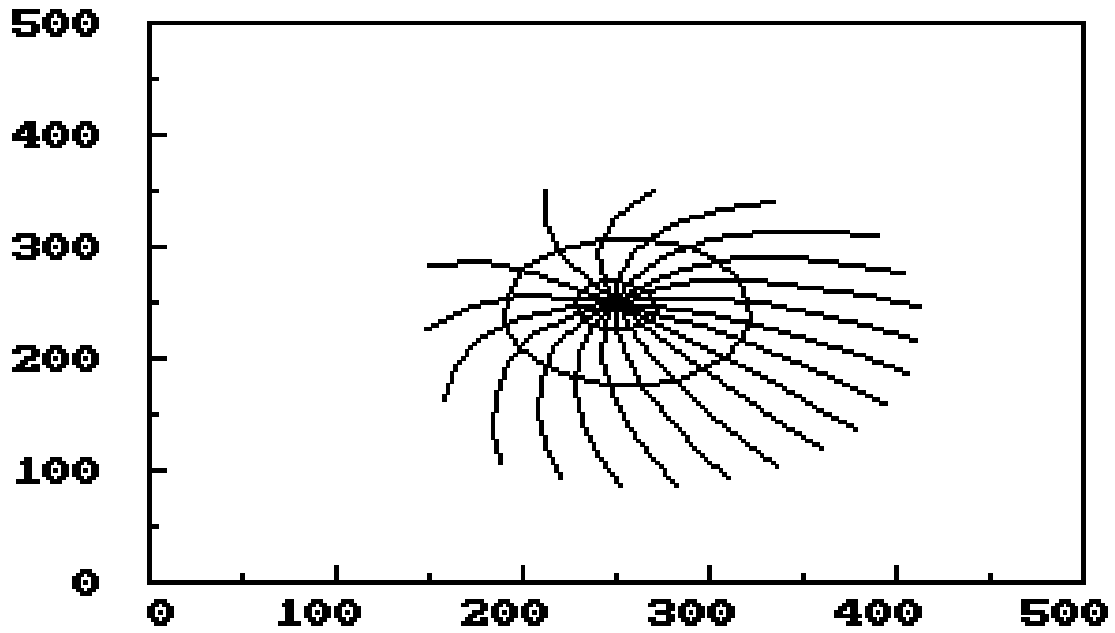
ALJIBE BARRIO LLERAS



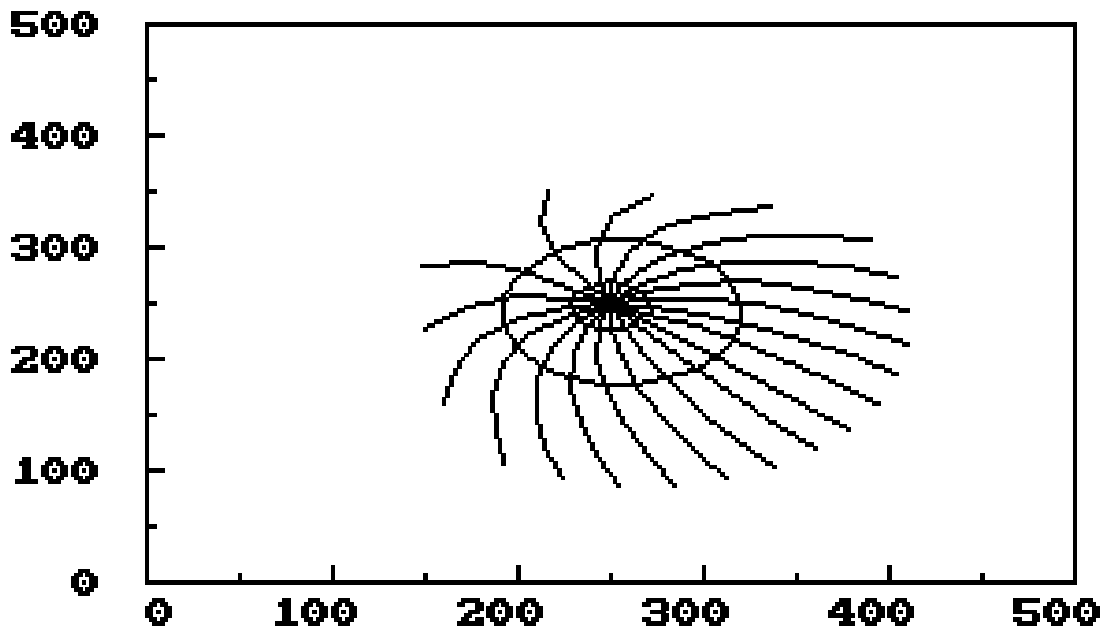
ALJIBE BARRIO SAN JOSÉ



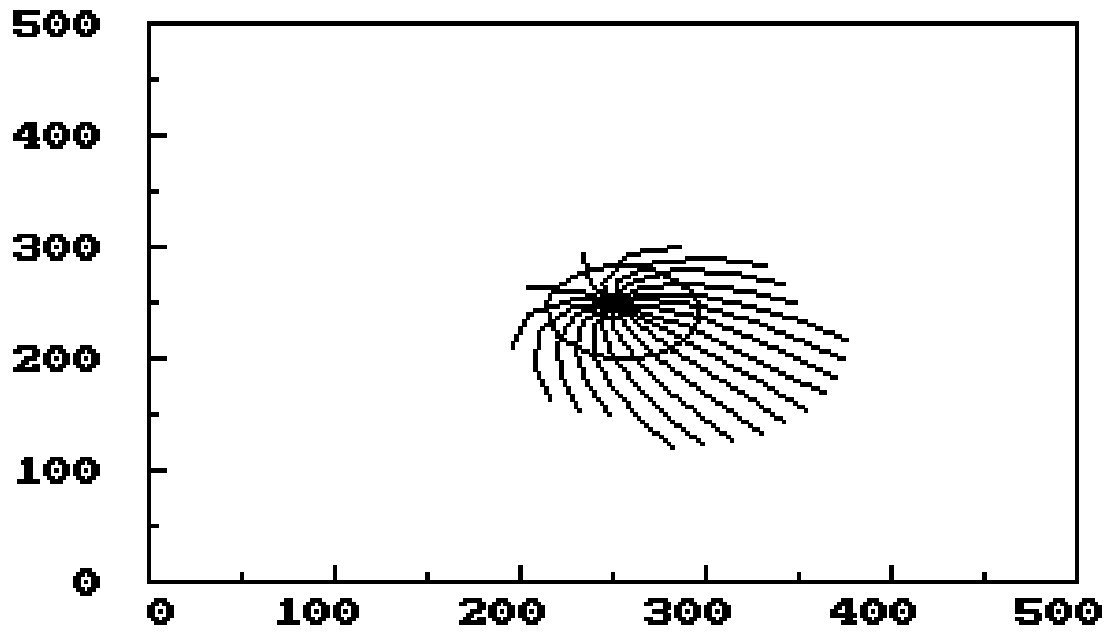
ALJIBE CAMPO BELLO 4



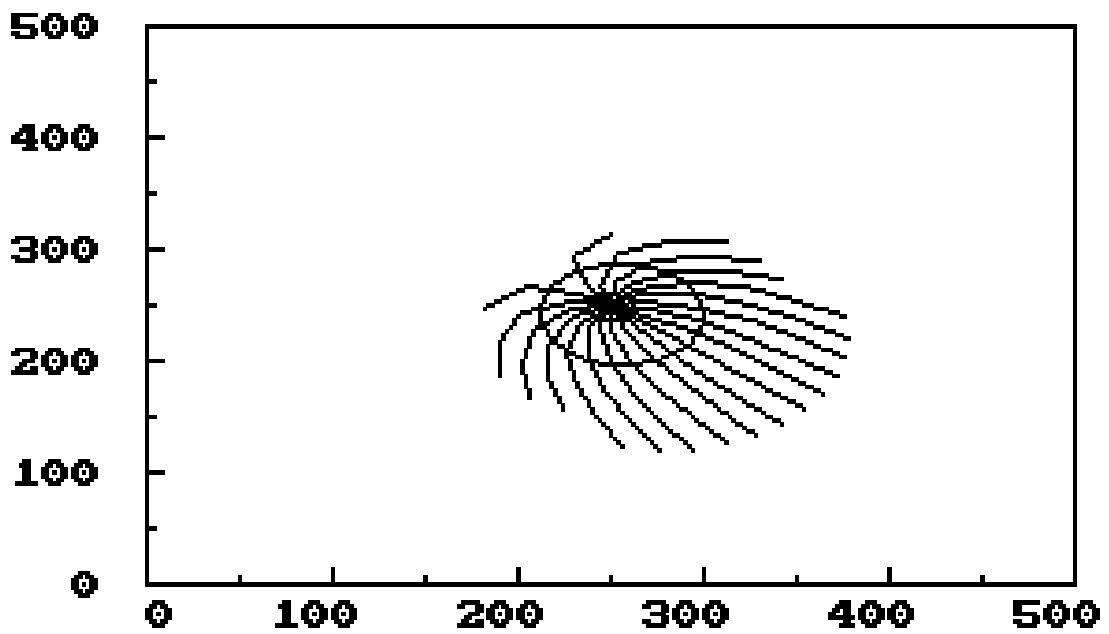
ALJIBE CAMPO BELLO 5



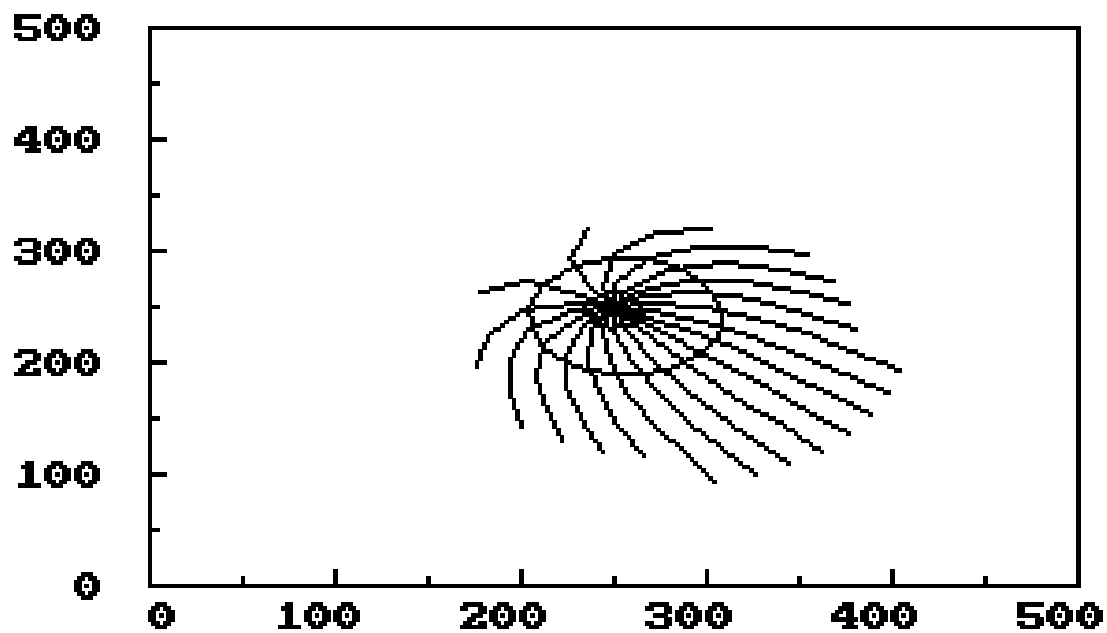
ALJIBE CAMPO BELLO 6



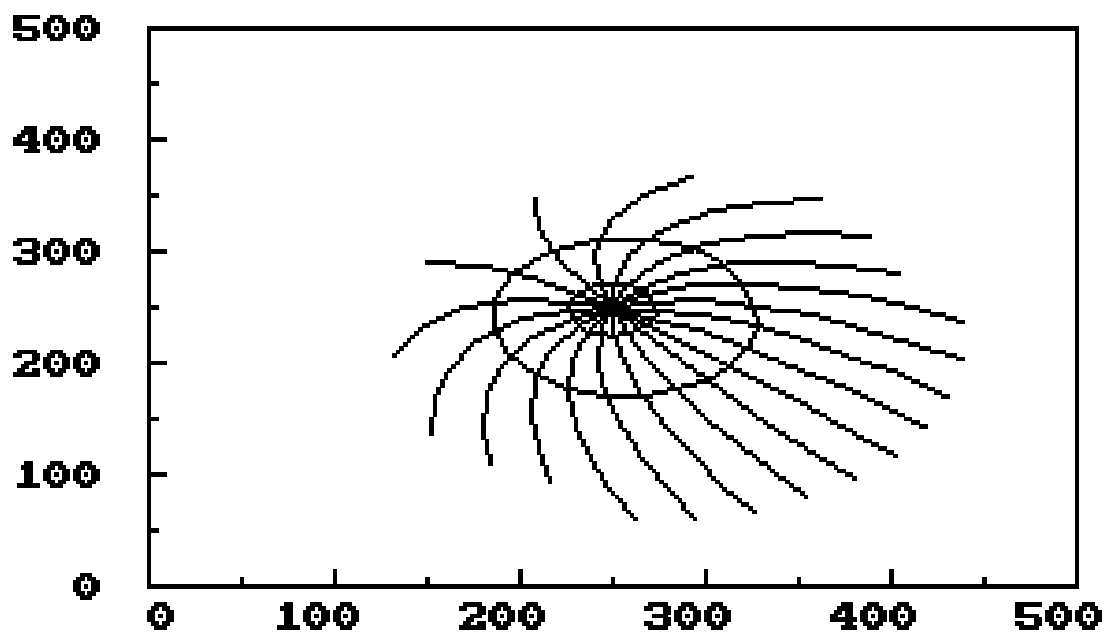
ALJIBE CAMPO BELLO 7



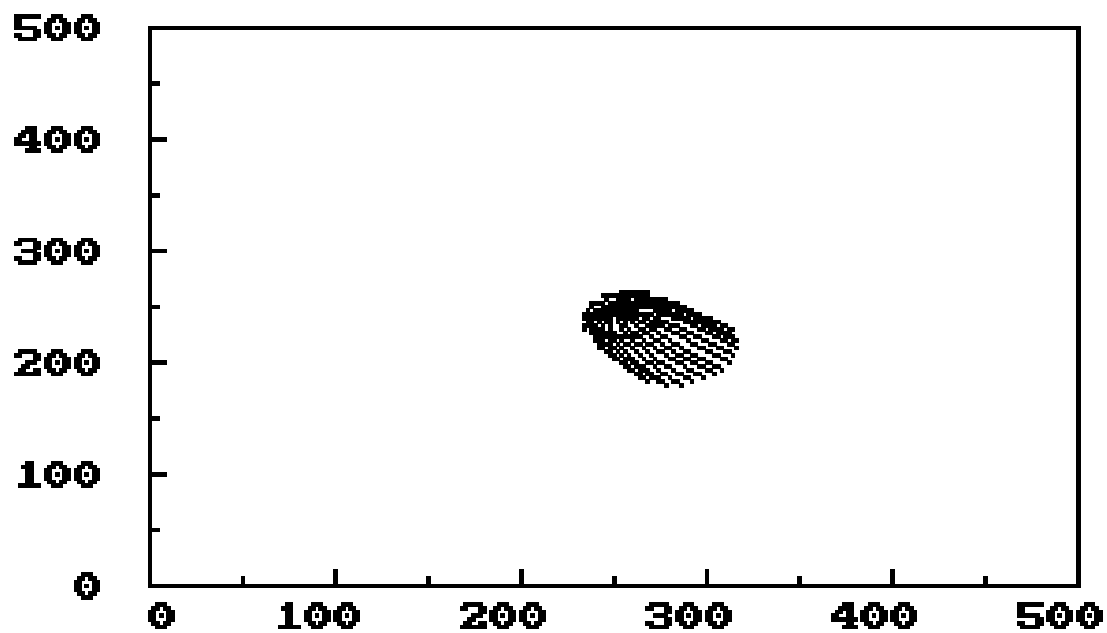
ALJIBE CANTIMPLORA



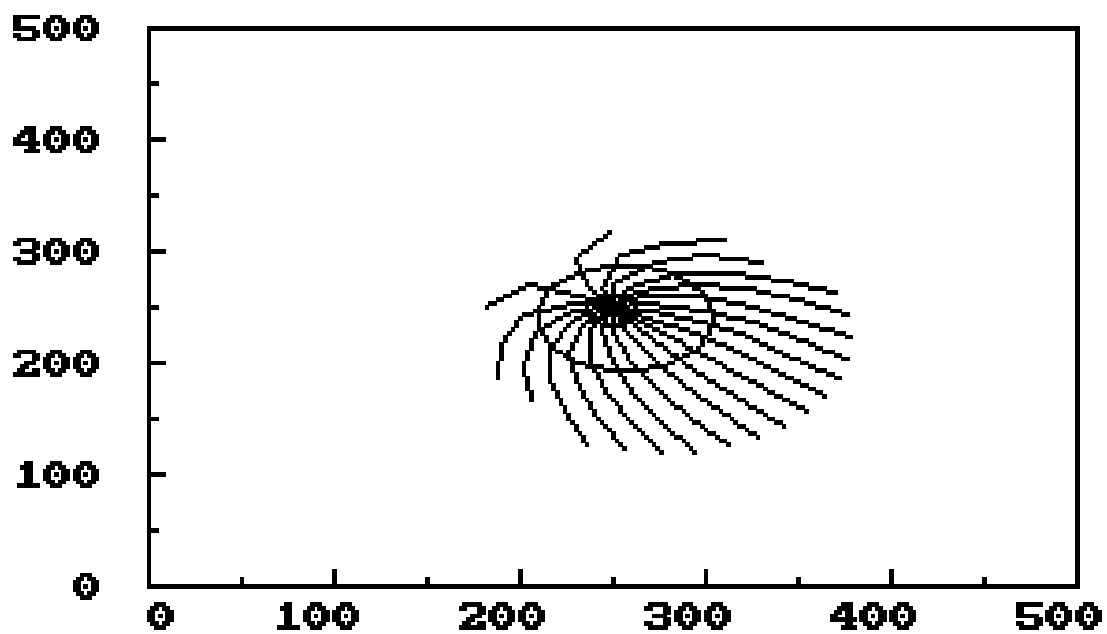
ALJIBE CASA AMARILLA



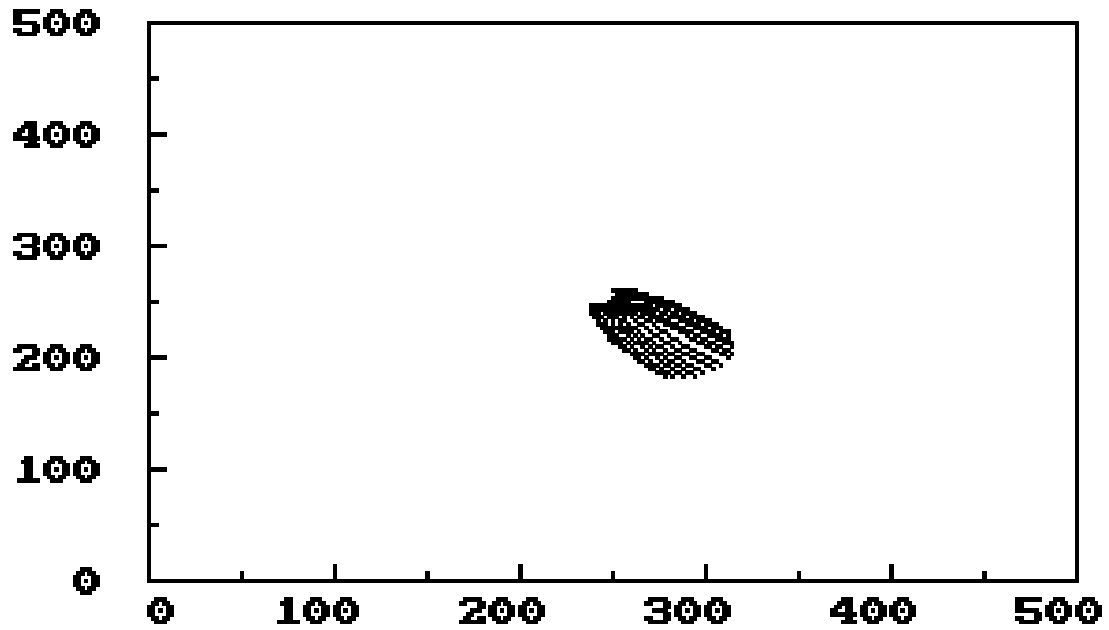
ALJIBE CHORLAVI



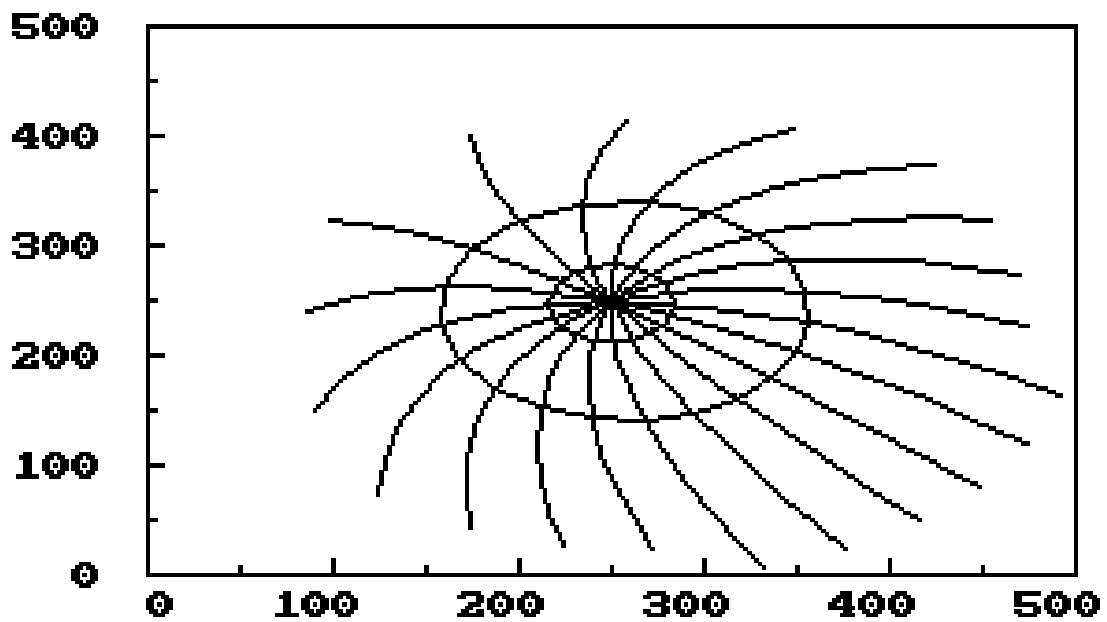
ALJIBE DIOSA PRIMAVERAL



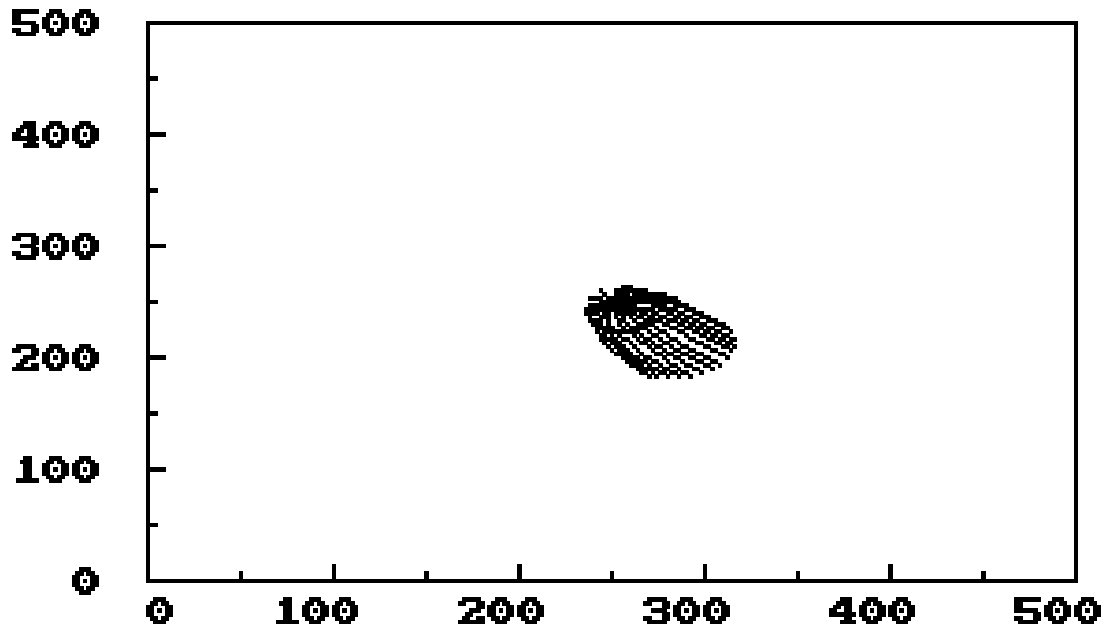
ALJIBE EL BOSQUE



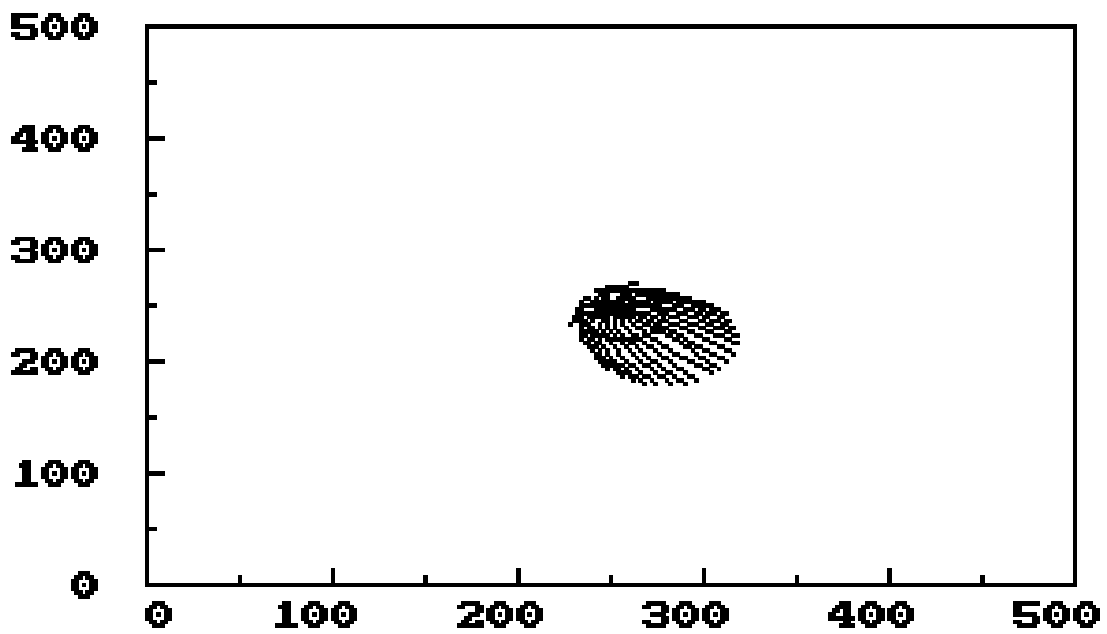
ALJIBE EL BOYERO



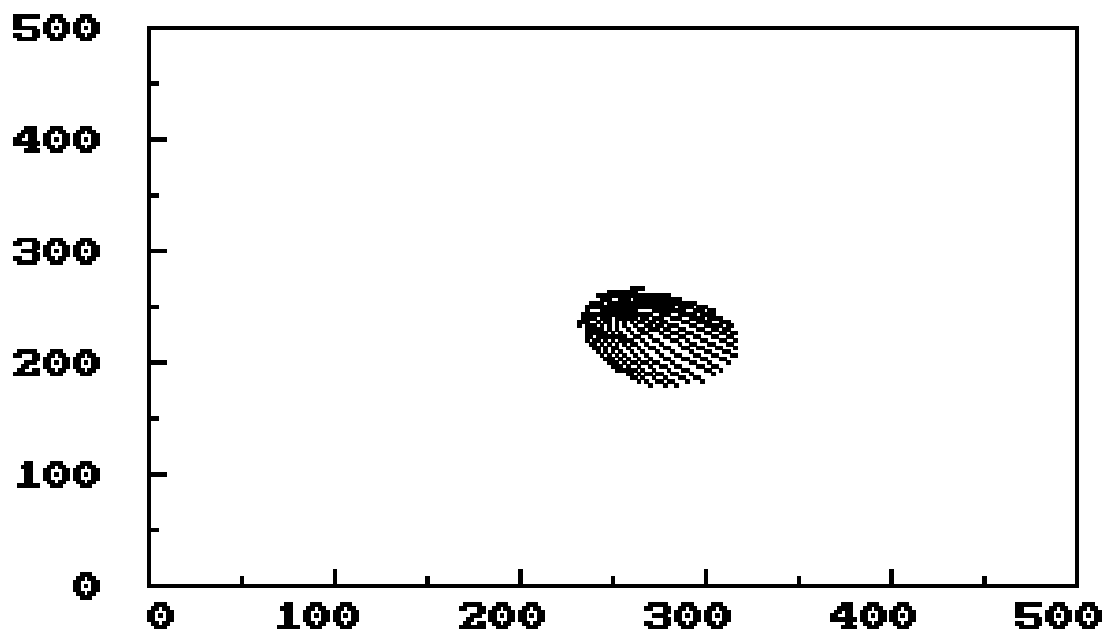
ALJIBE EL CRUCE



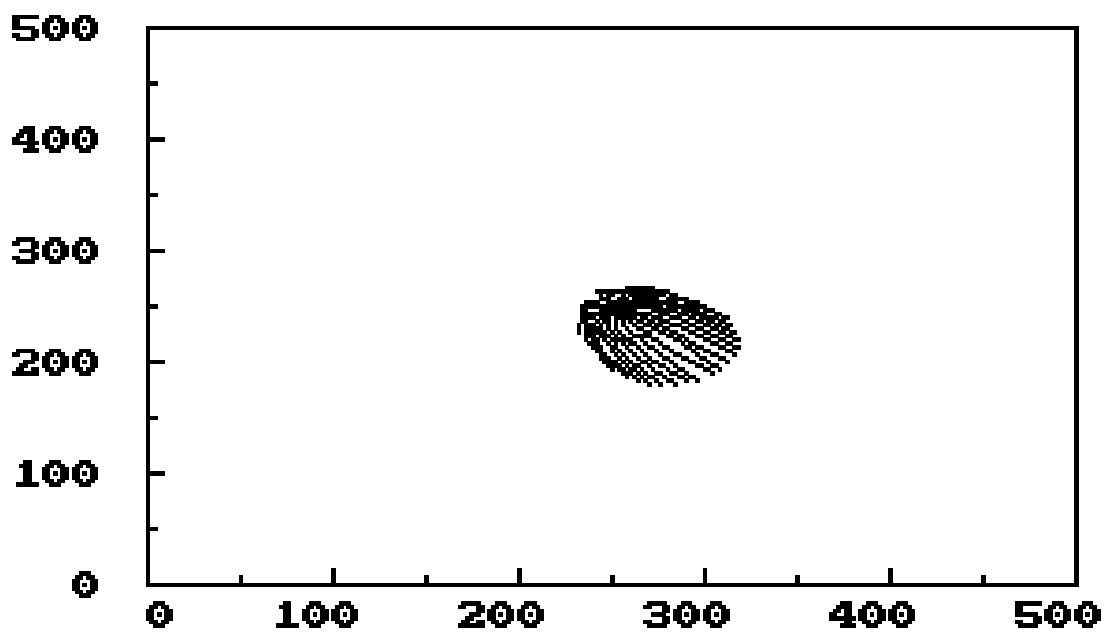
ALJIBE EL MOYANO



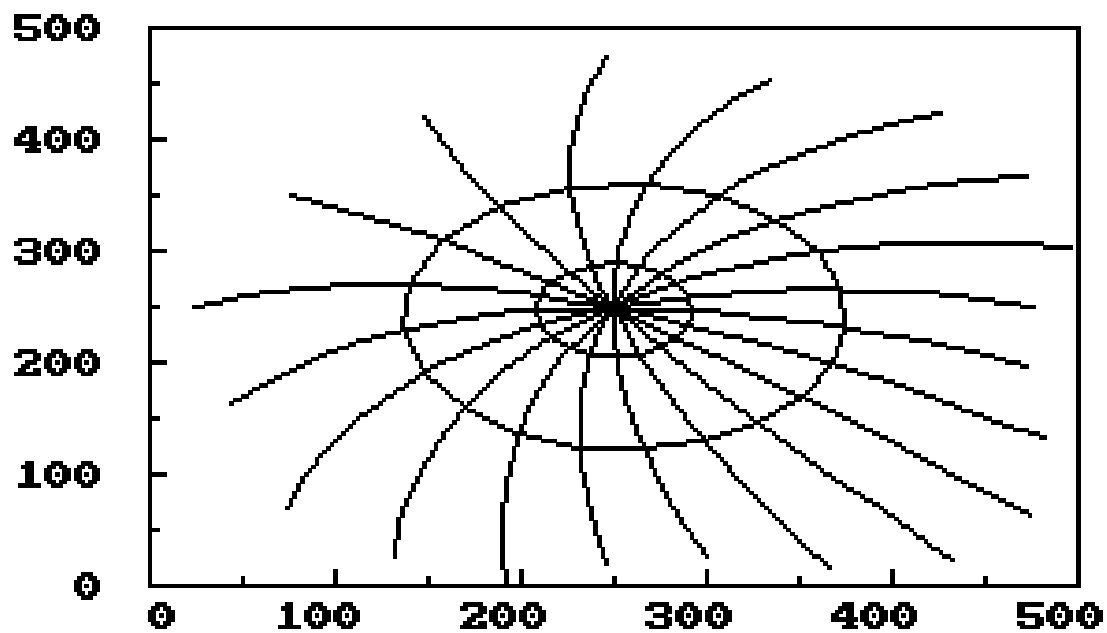
ALJIBE EL PALMAR



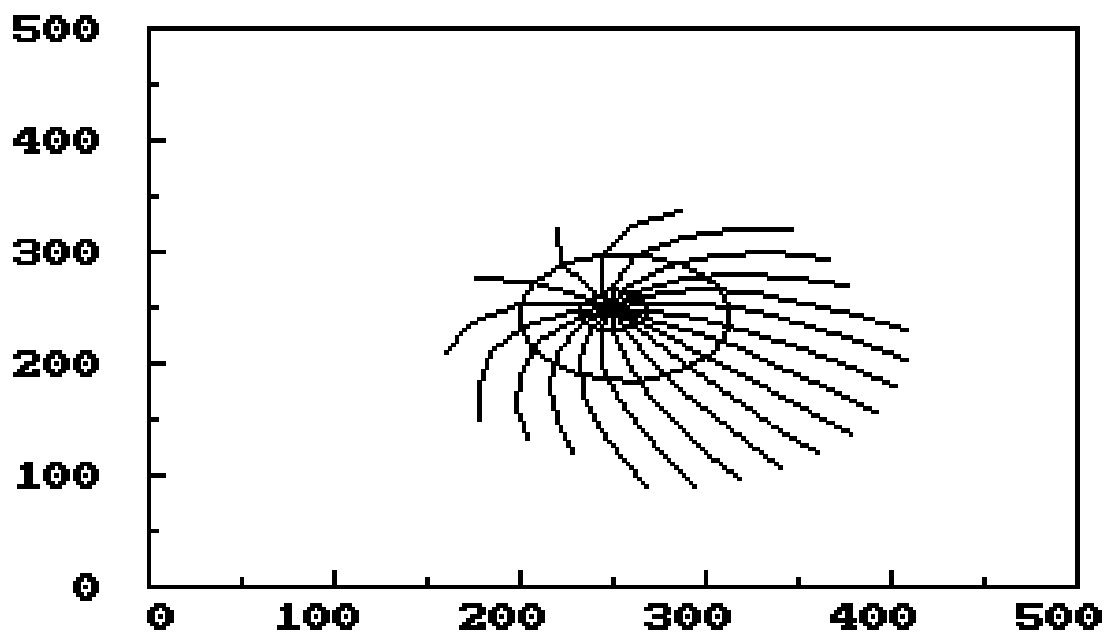
ALJIBE EL PINO



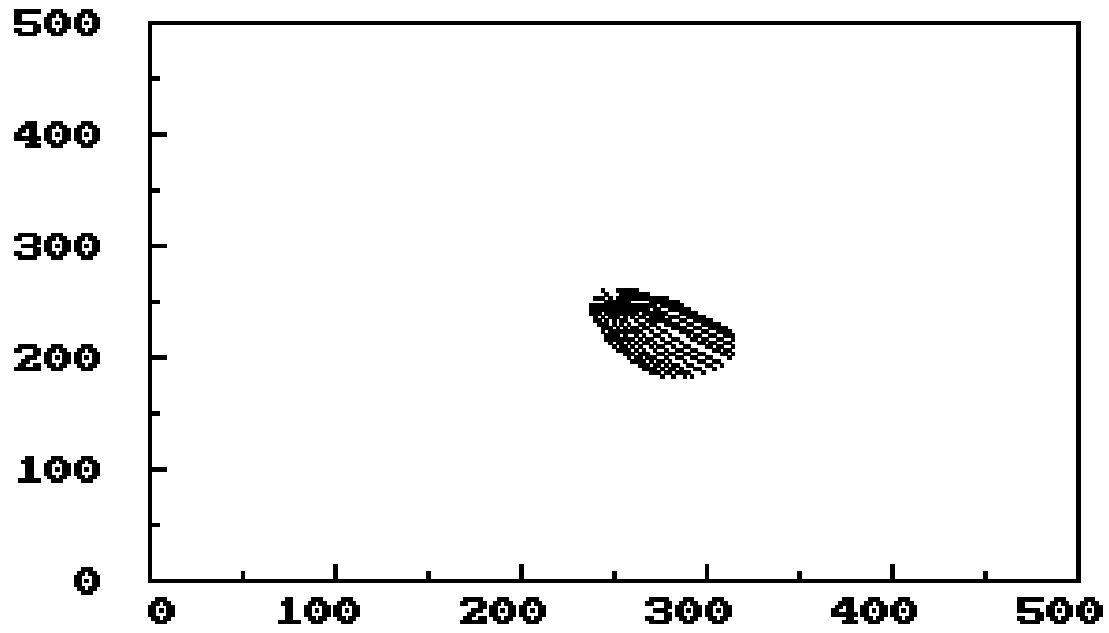
ALJIBE EL PORVENIR 1



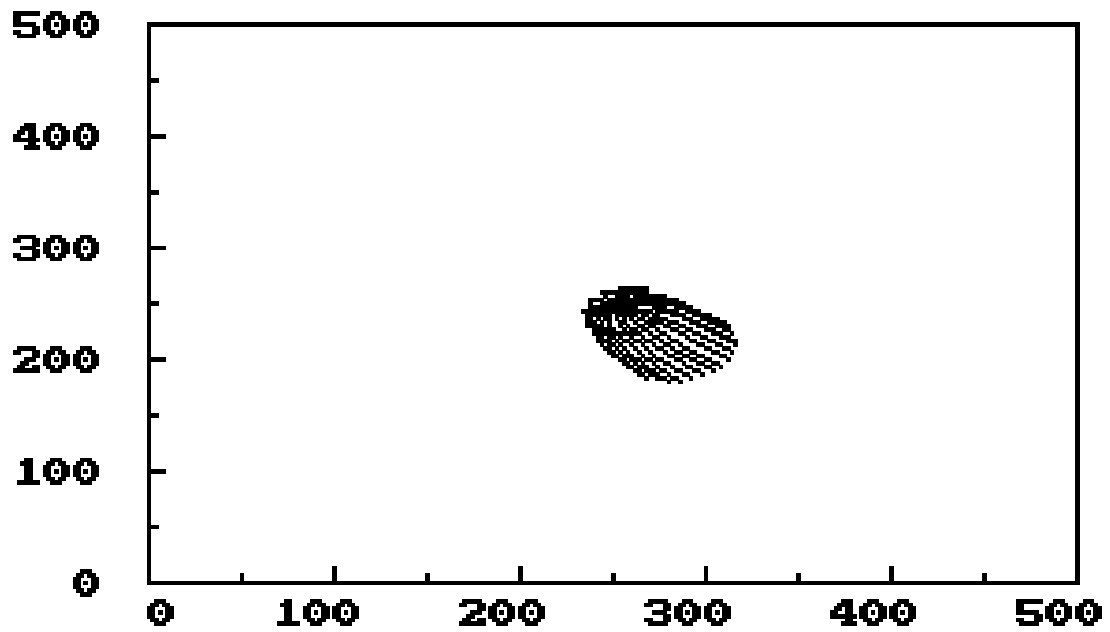
ALJIBE EL RECUERDO



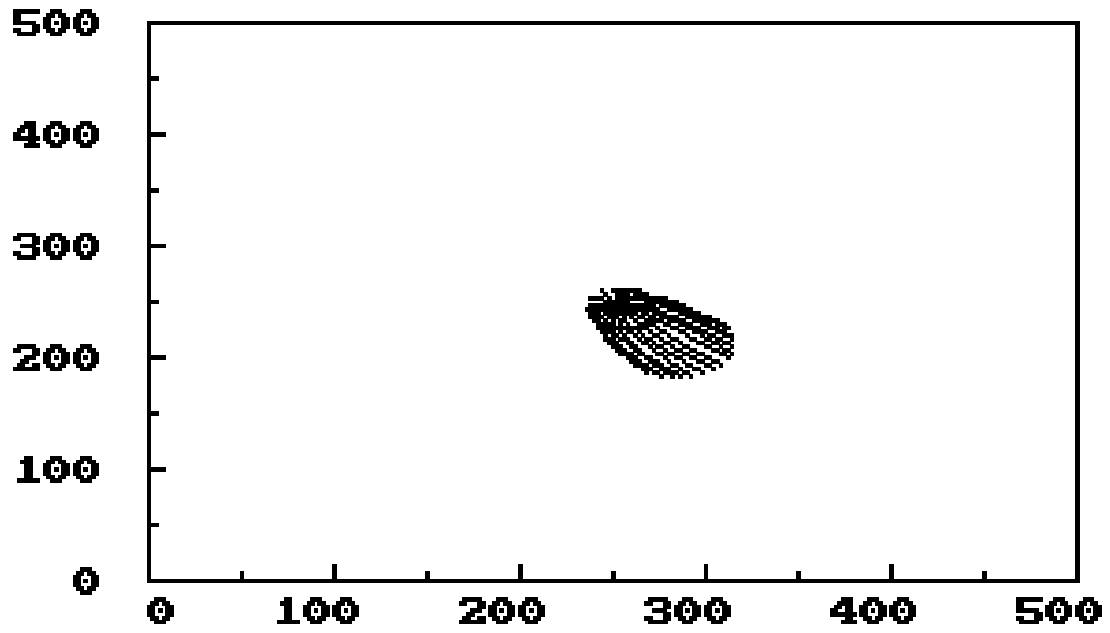
ALJIBE EL RECUERDO 1



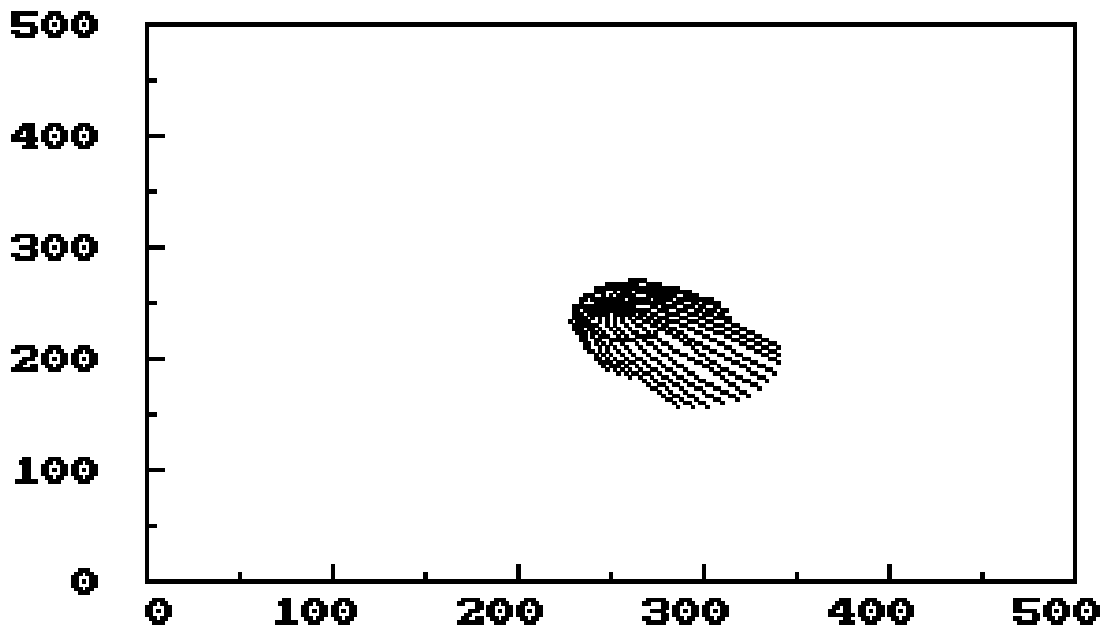
ALJIBE EL VERGEL



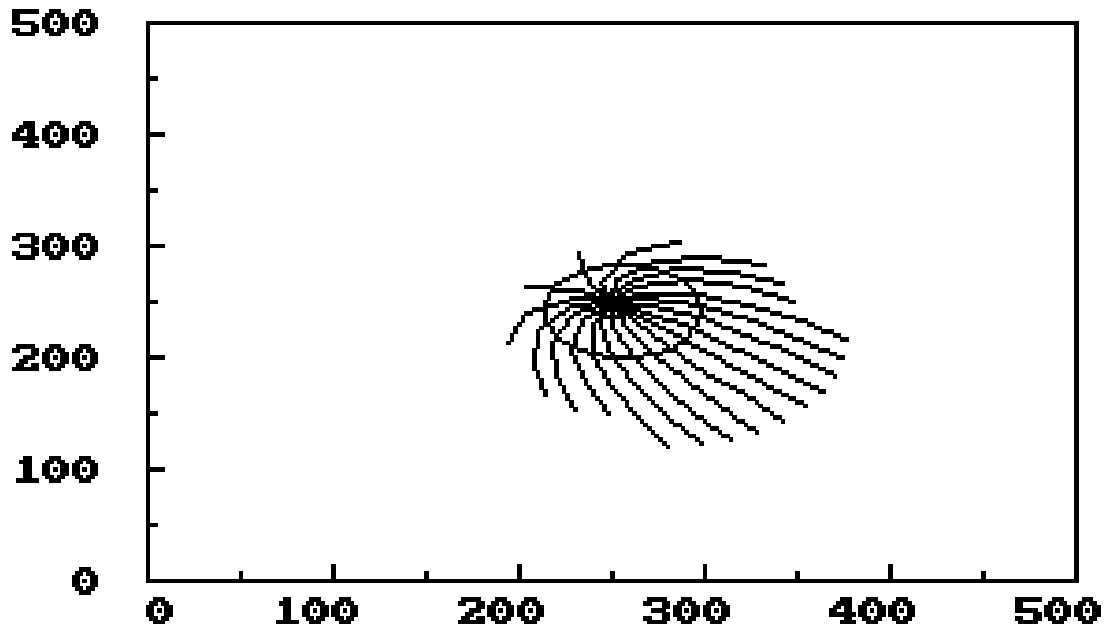
ALJIBE EL VINCULO



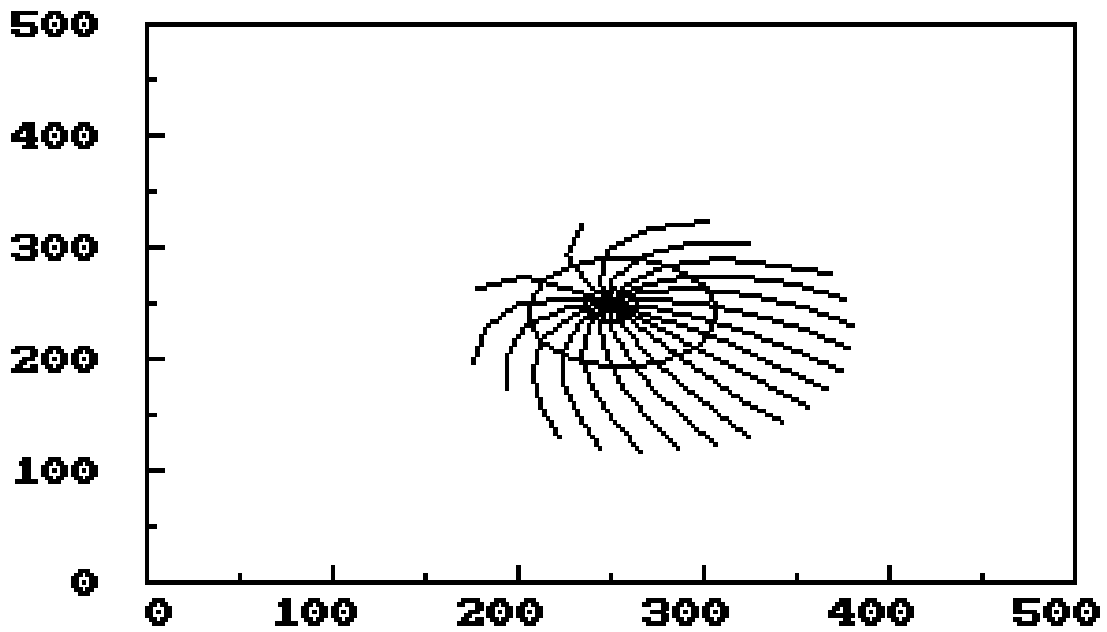
ALJIBE EL ZAFIRO



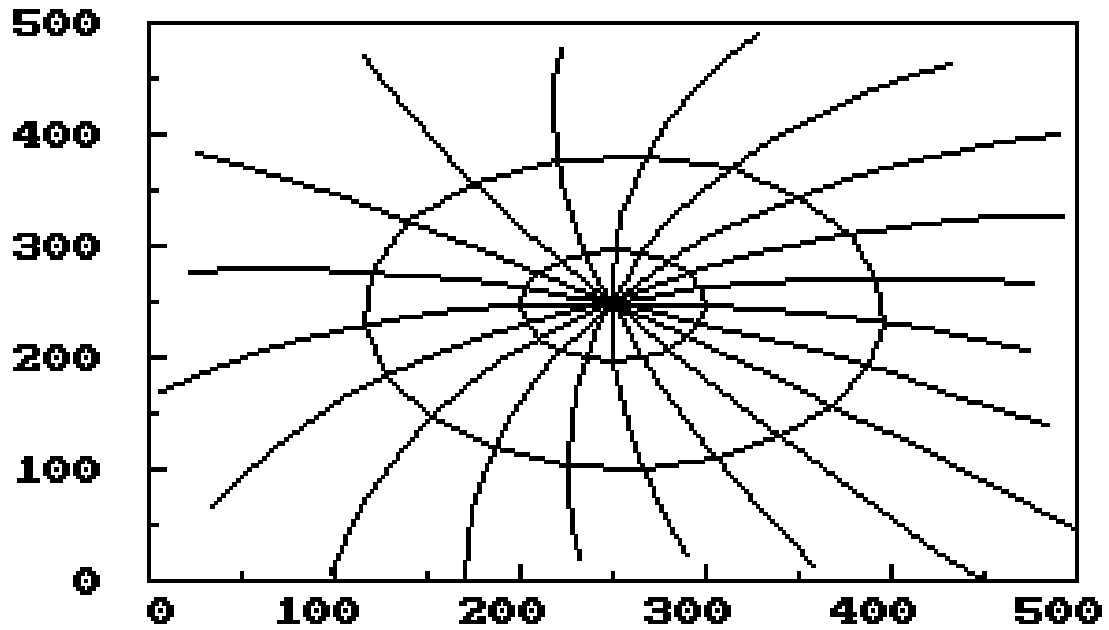
ALJIBE ESTACIÓN MOBIL



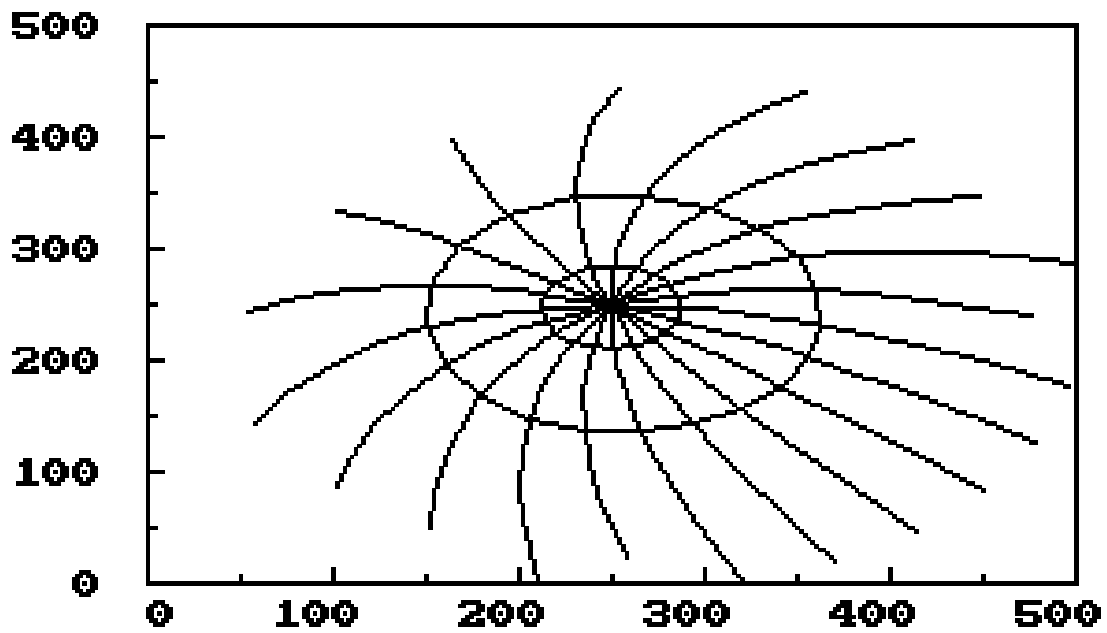
ALJIBE ESTRELLA DEL NORTE 1



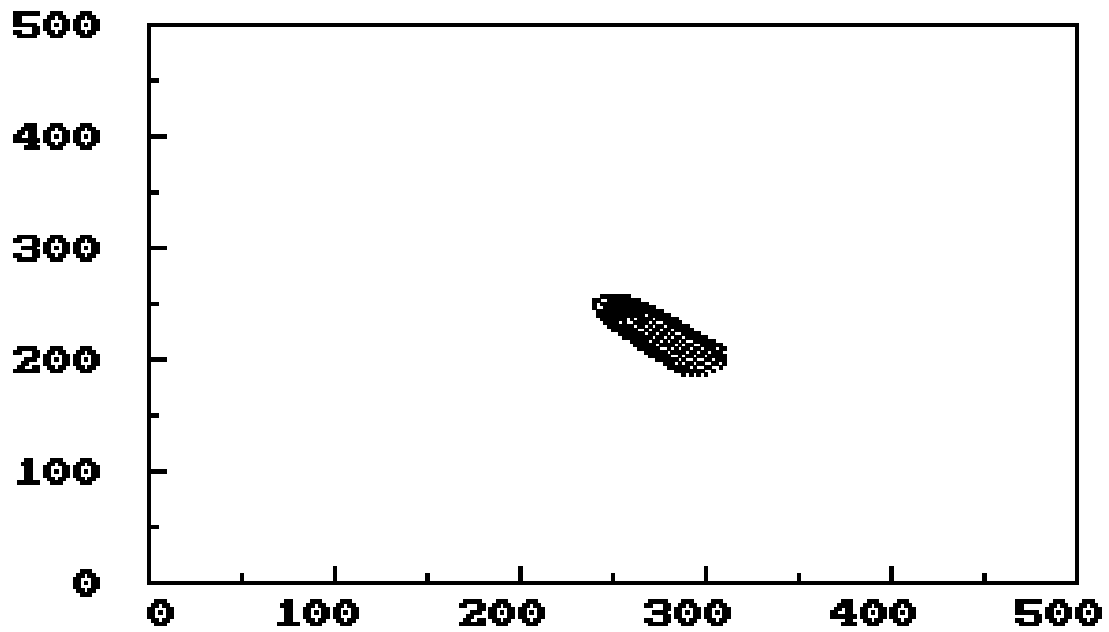
ALJIBE I. AG. ELENA OLOZAGA



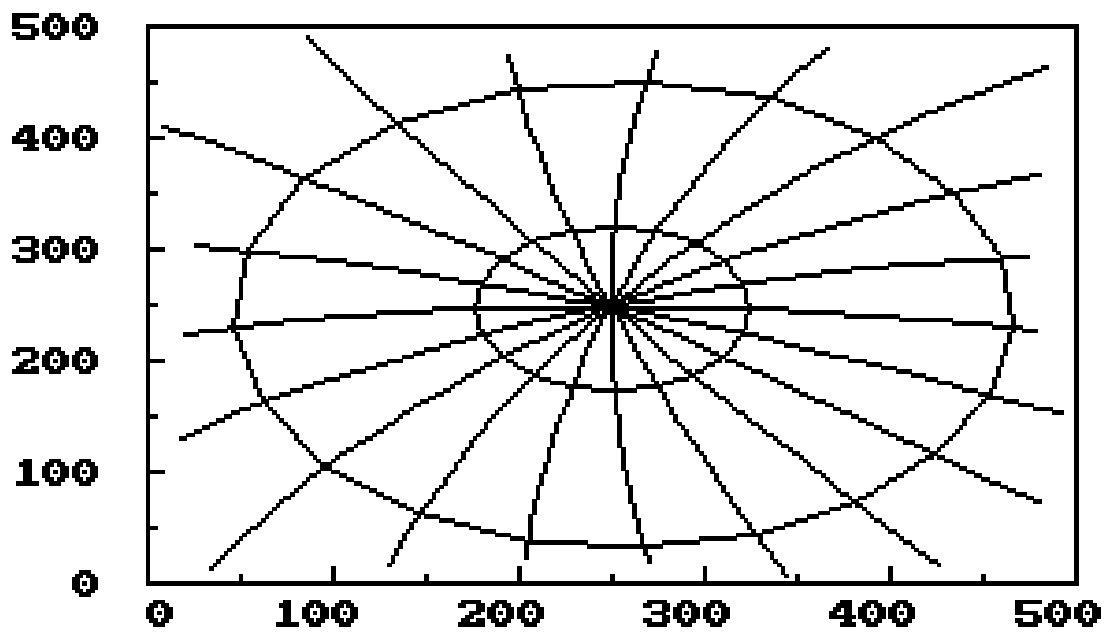
ALJIBE ICEIN LTDA



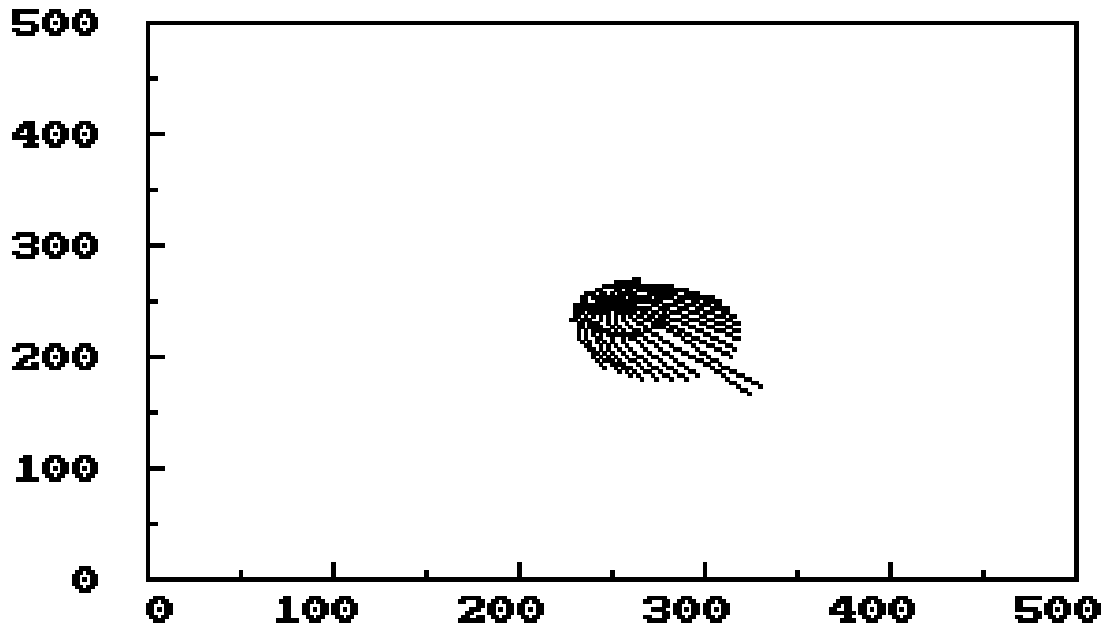
ALJIBE INRAVISION #3



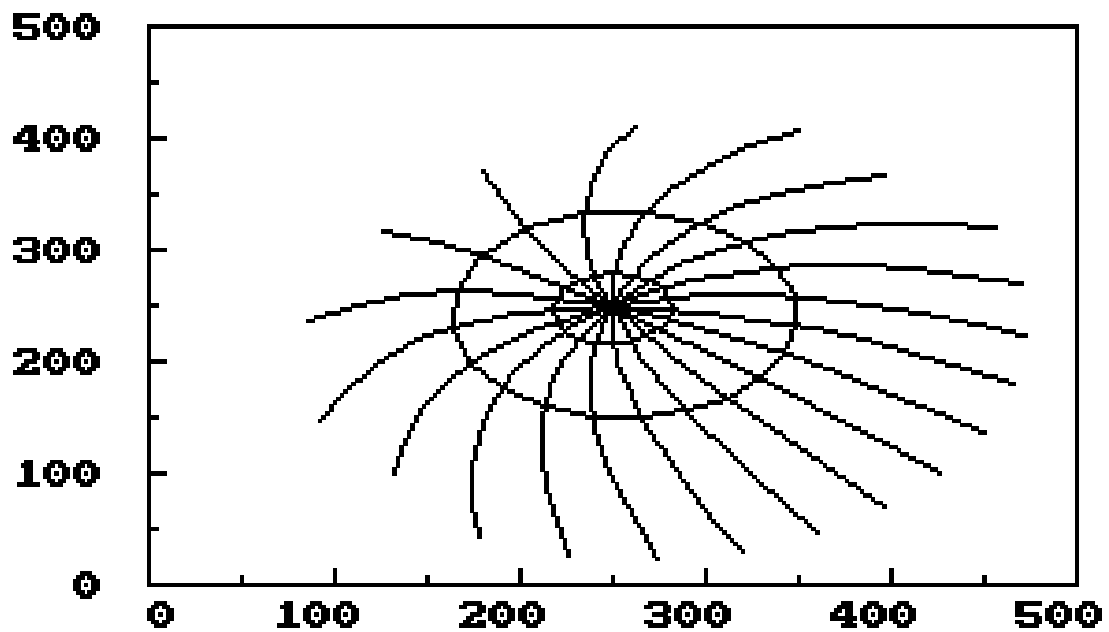
ALJIBE JARDIN DE LOS ANDES 1



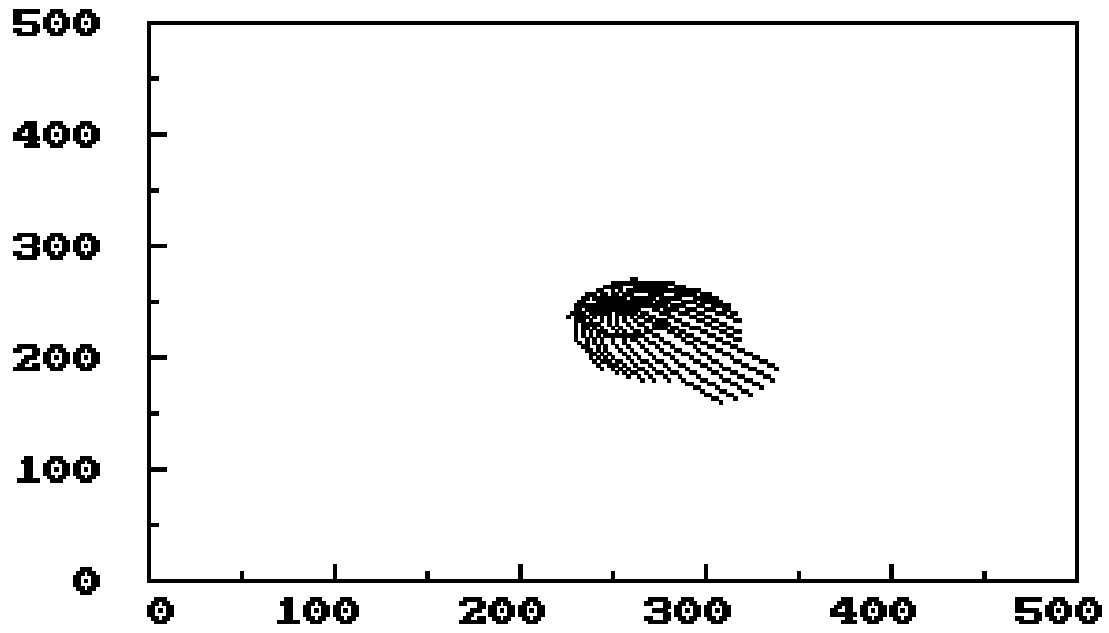
ALJIBE LA ESMERALDA 1



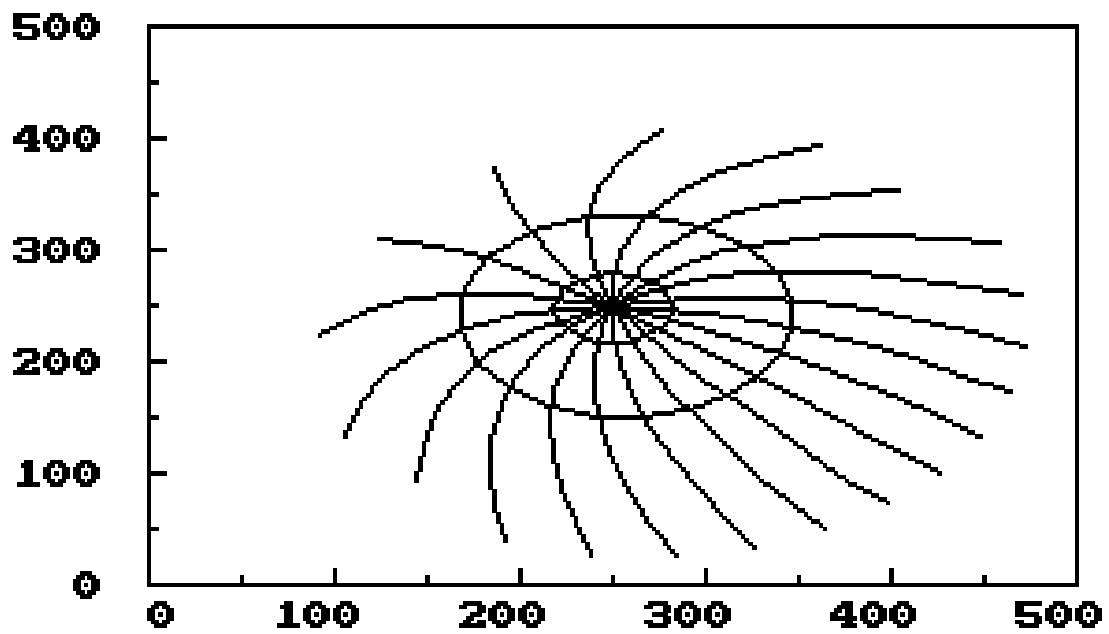
ALJIBE LA ESMERALDA



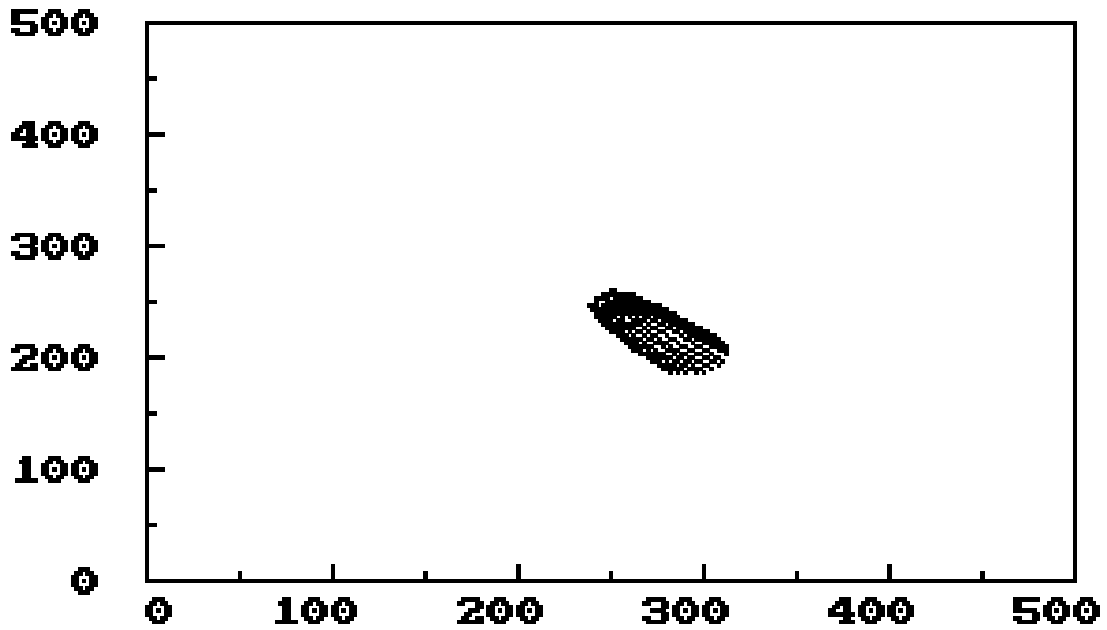
ALJIBE LA GLORIA



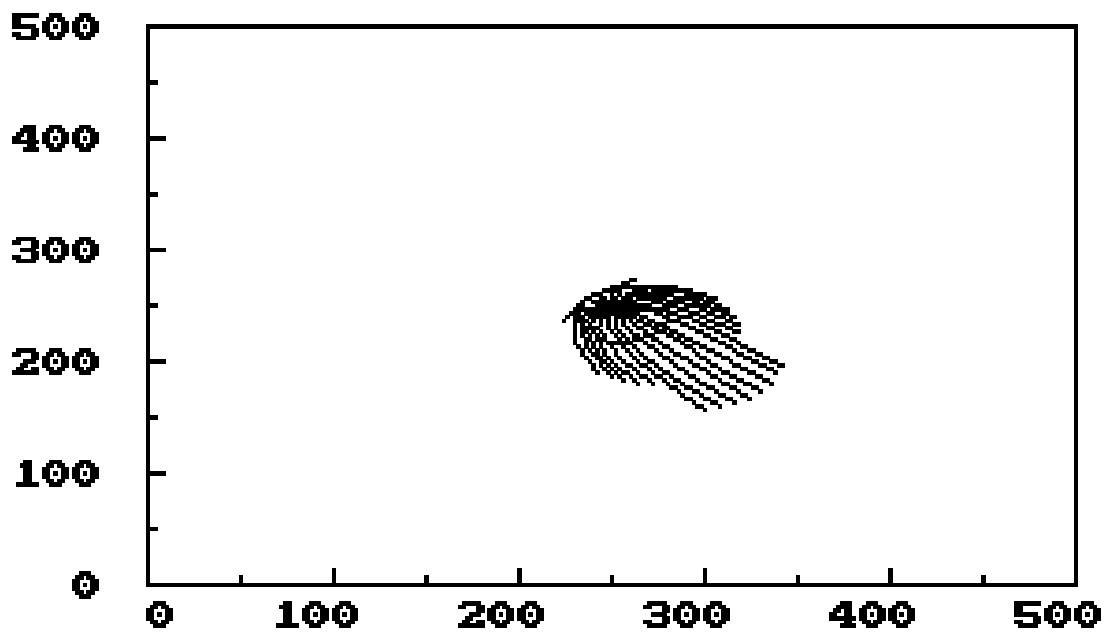
ALJIBE LA LUMBRE



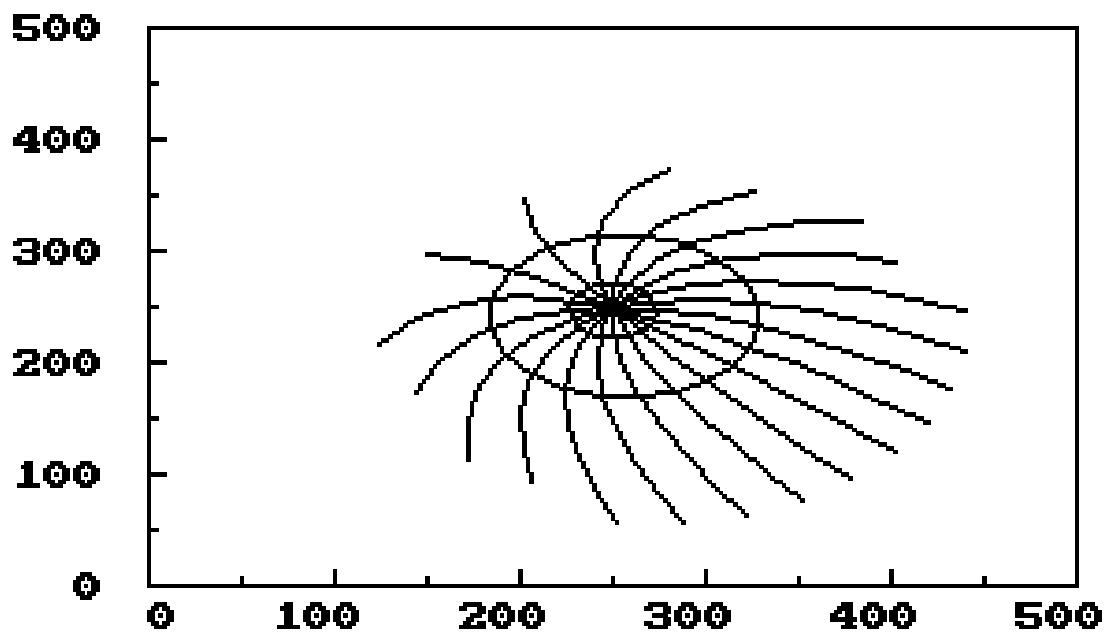
ALJIBE LA PORQUERA



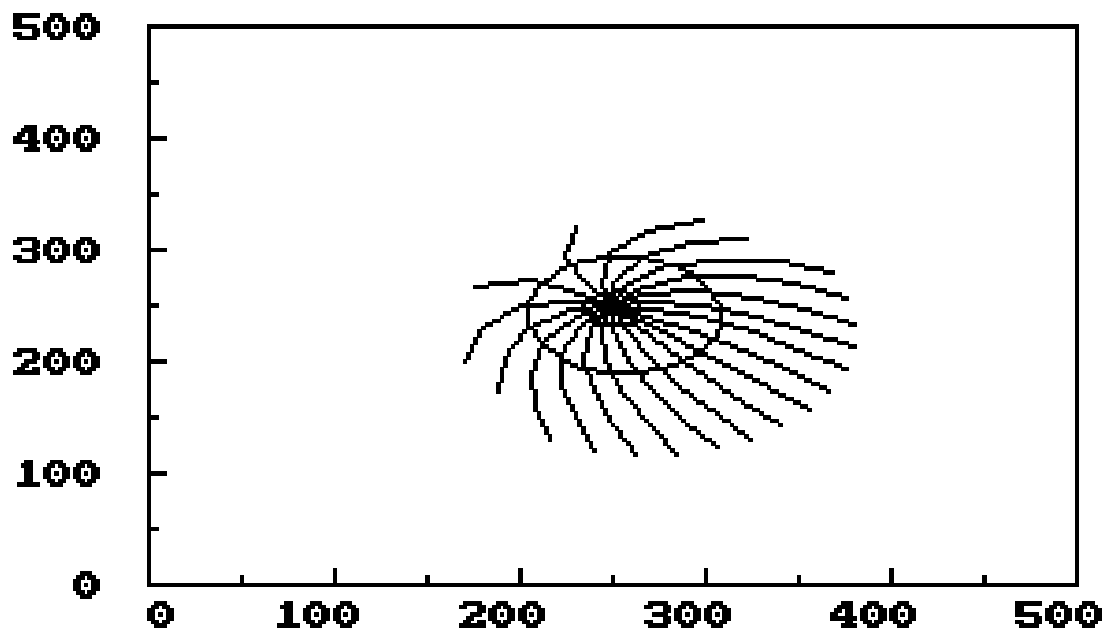
ALJIBE LA PROVIDENCIA



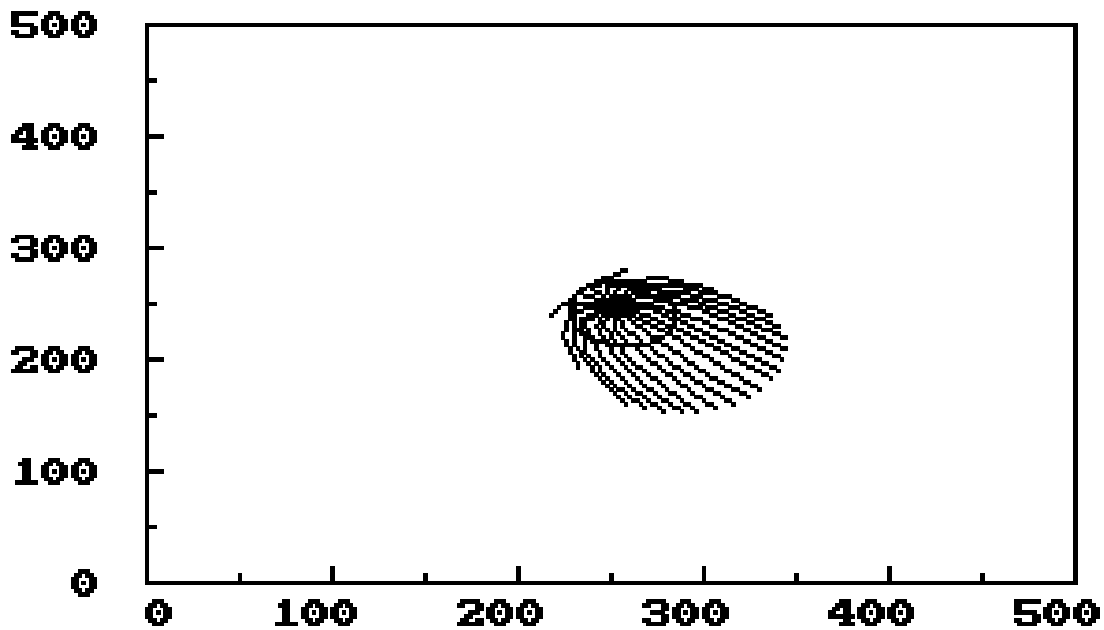
ALJIBE LA UNIÓN



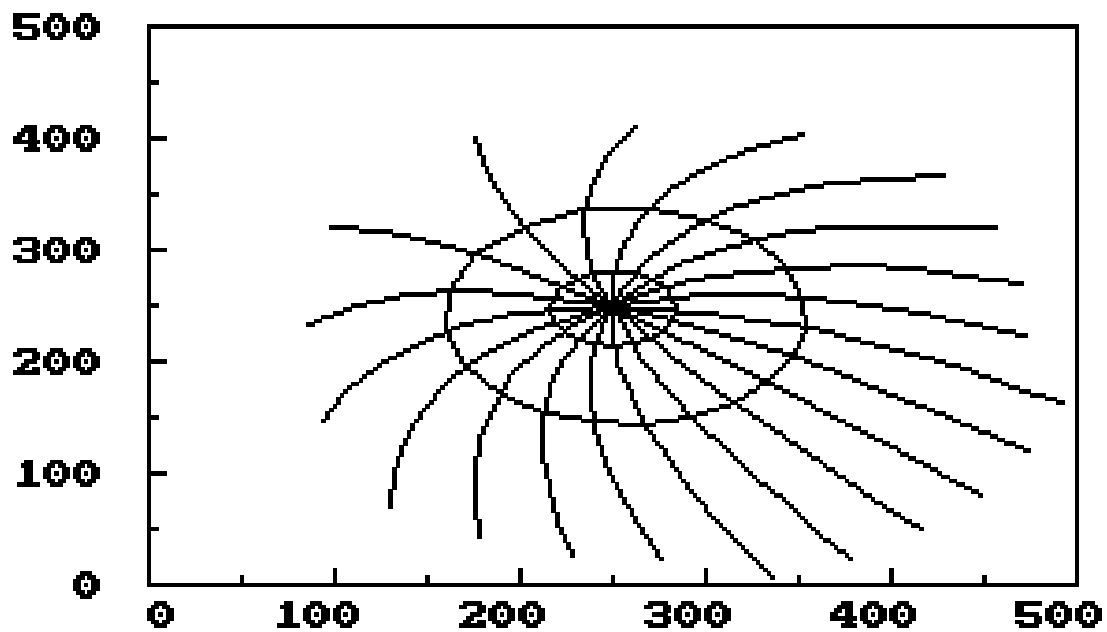
ALJIBE LAS ACACIAS



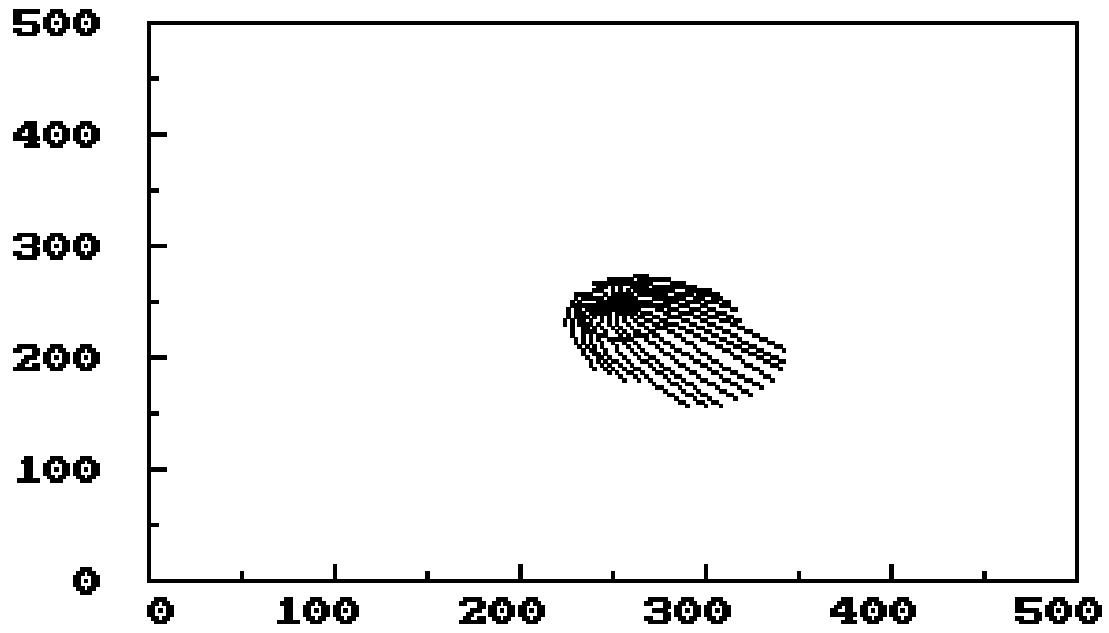
ALJIBE LAS DELICIAS



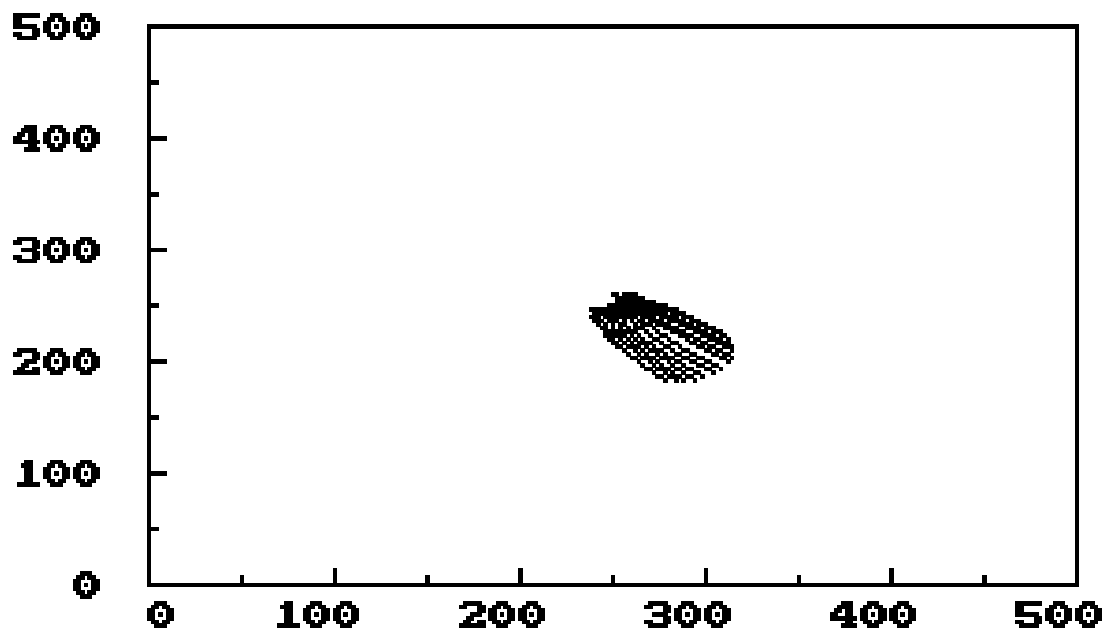
ALJIBE LAS LOMITAS



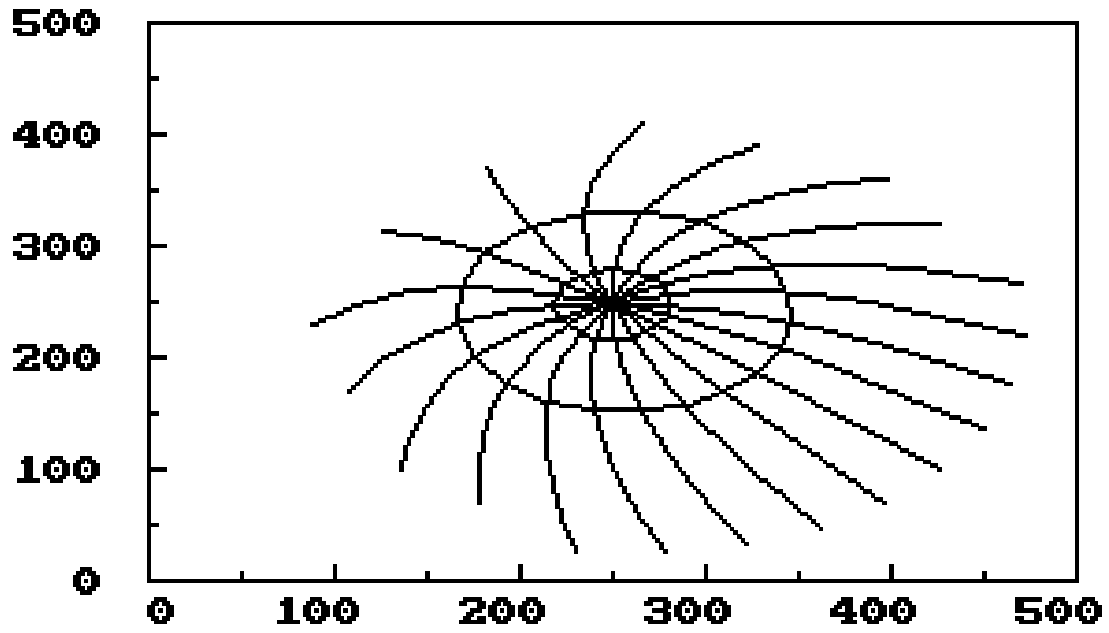
ALJIBE LAS MANDAS



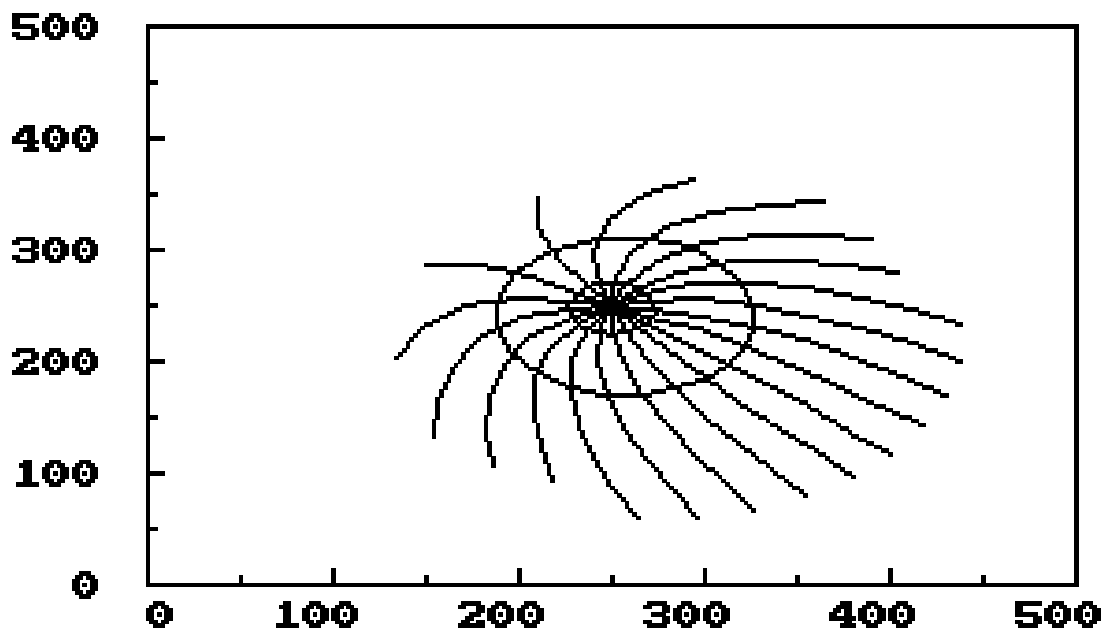
ALJIBE LAS MARGARITAS



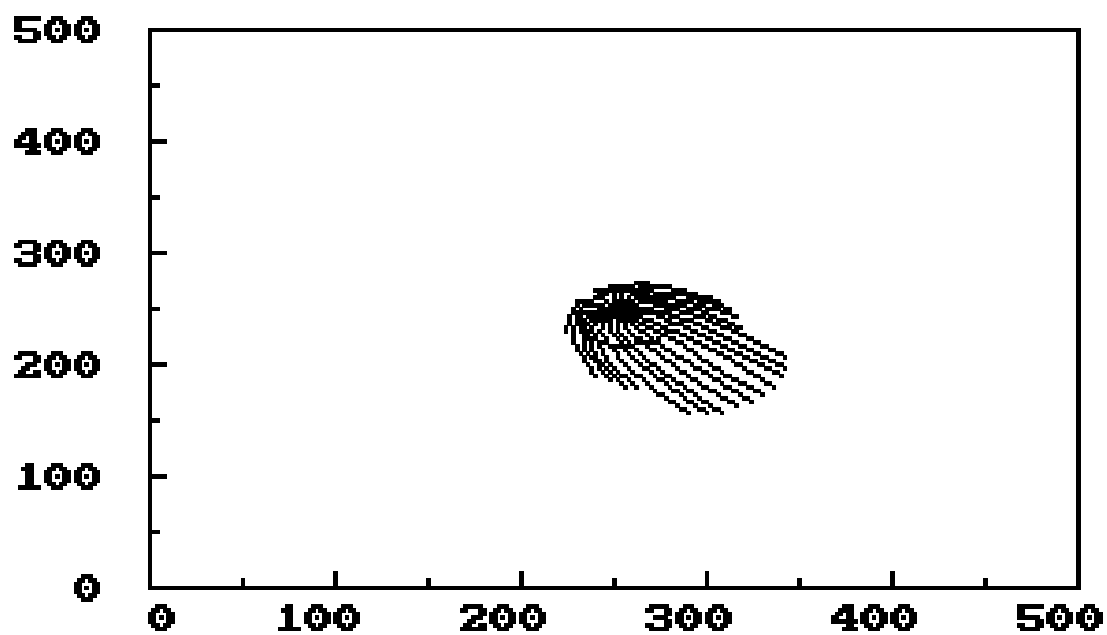
ALJIBE LAS MERCEDES 1



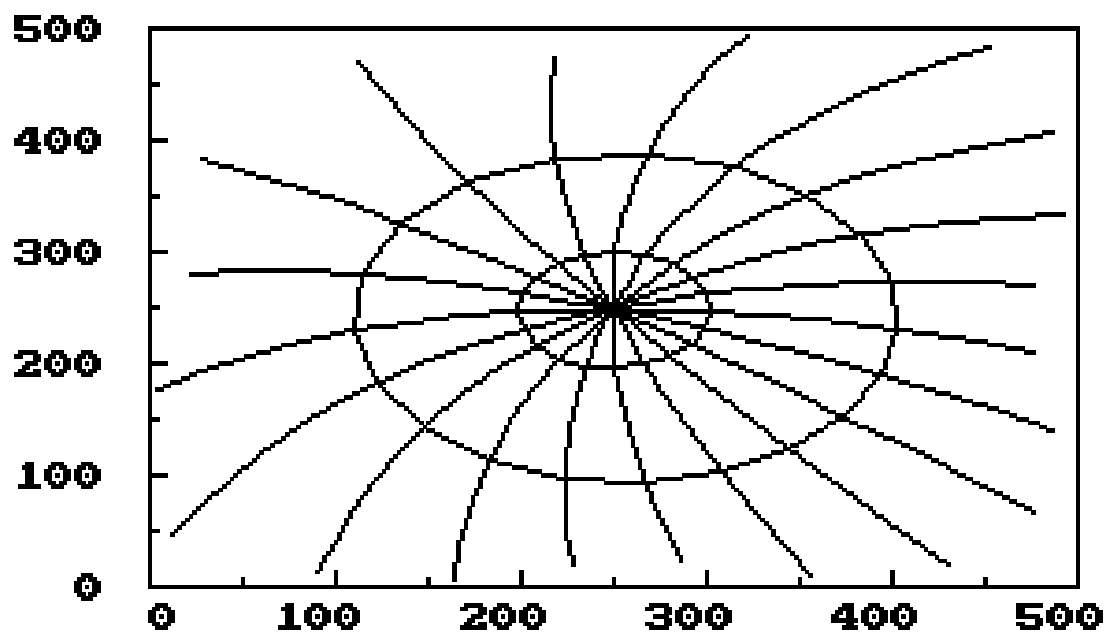
ALJIBE LAS MERCEDES



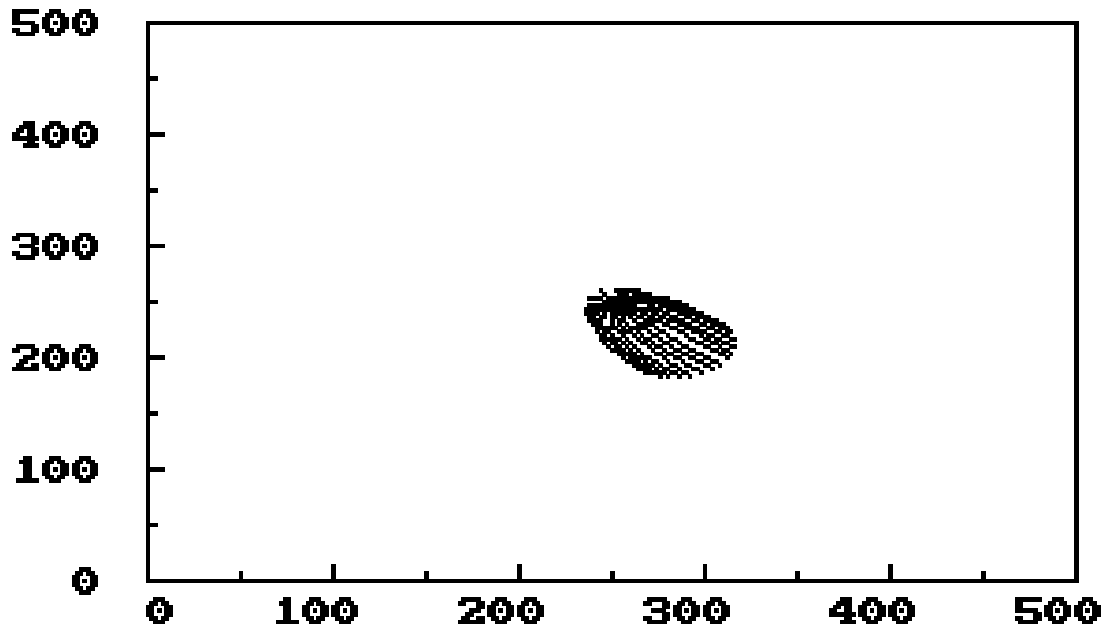
ALJIBE LAS MONAS



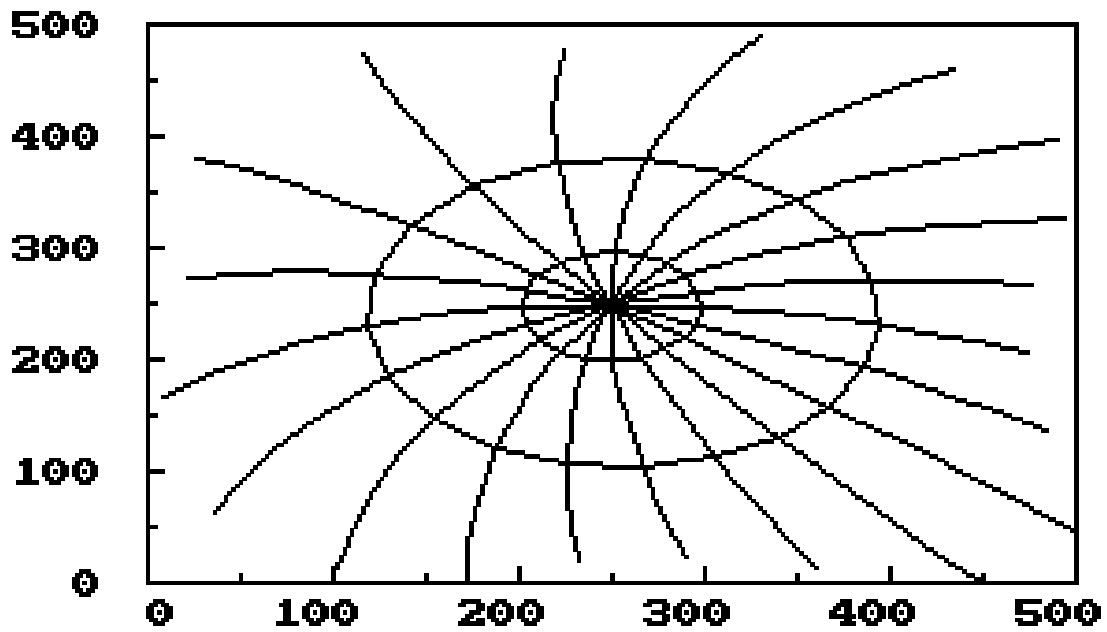
ALJIBE LOS BEBEDEROS



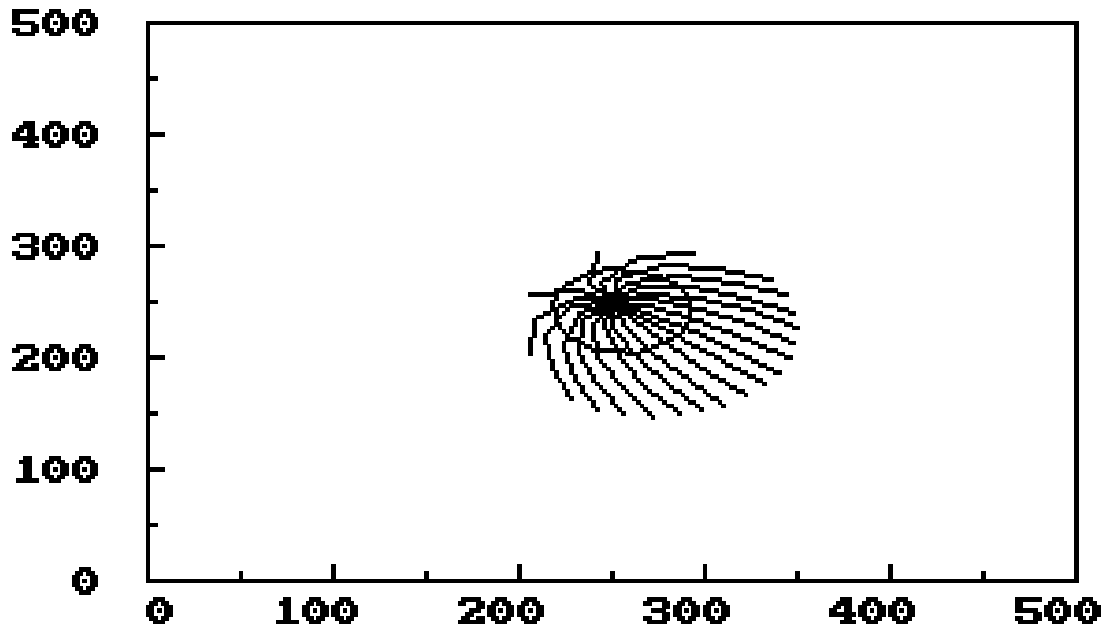
ALJIBE LOS LAGOS



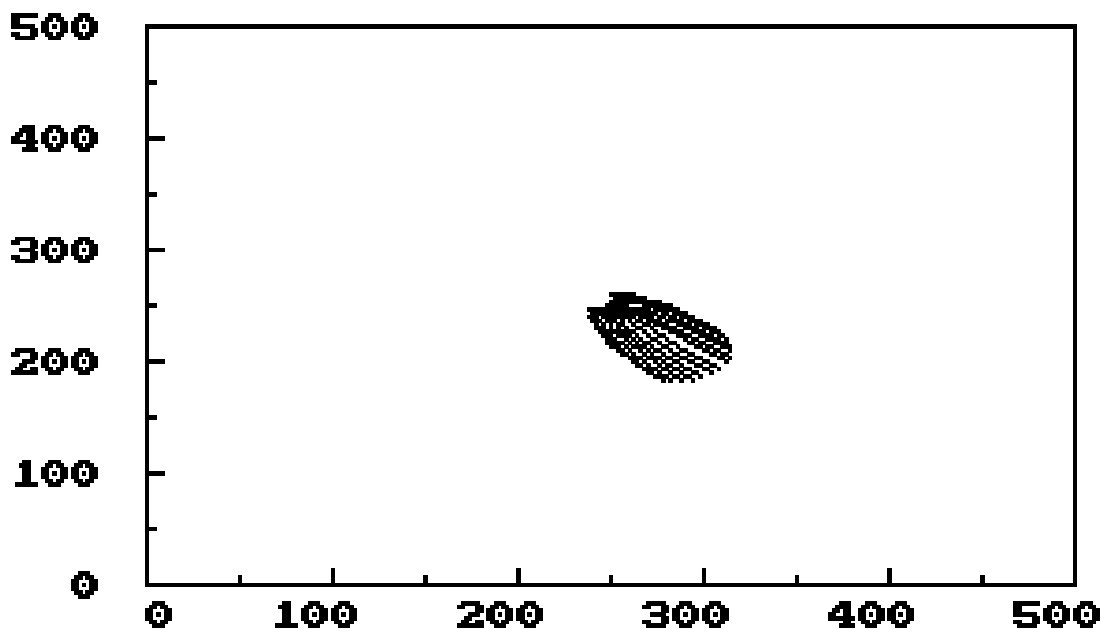
ALJIBE LOS POZOS



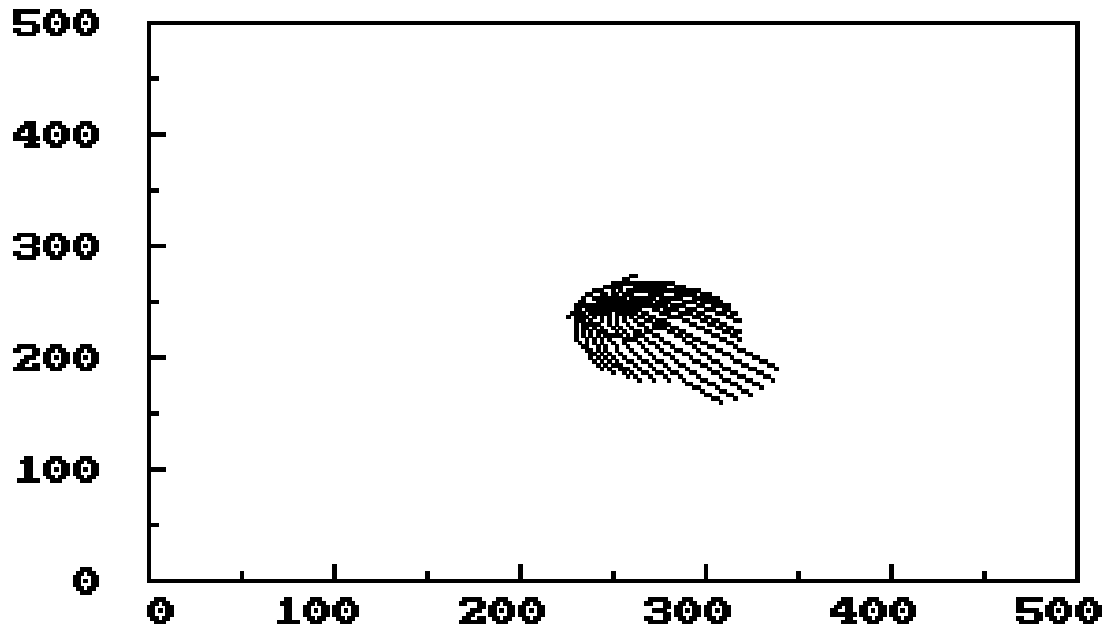
ALJIBE LOS SAUCES



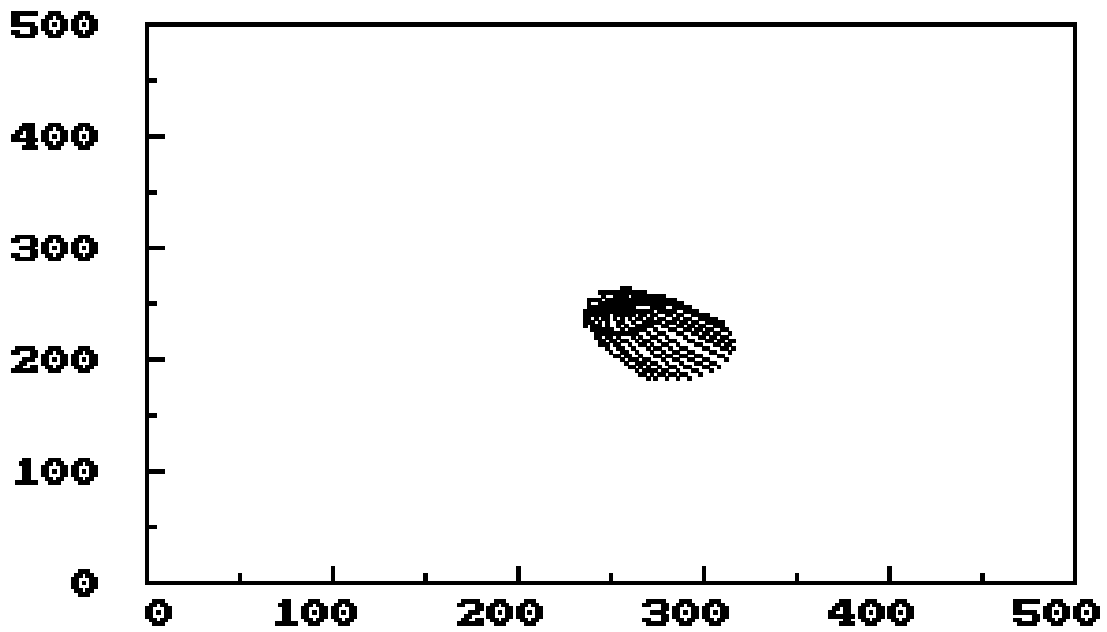
ALJIBE LOS TAMARINDOS



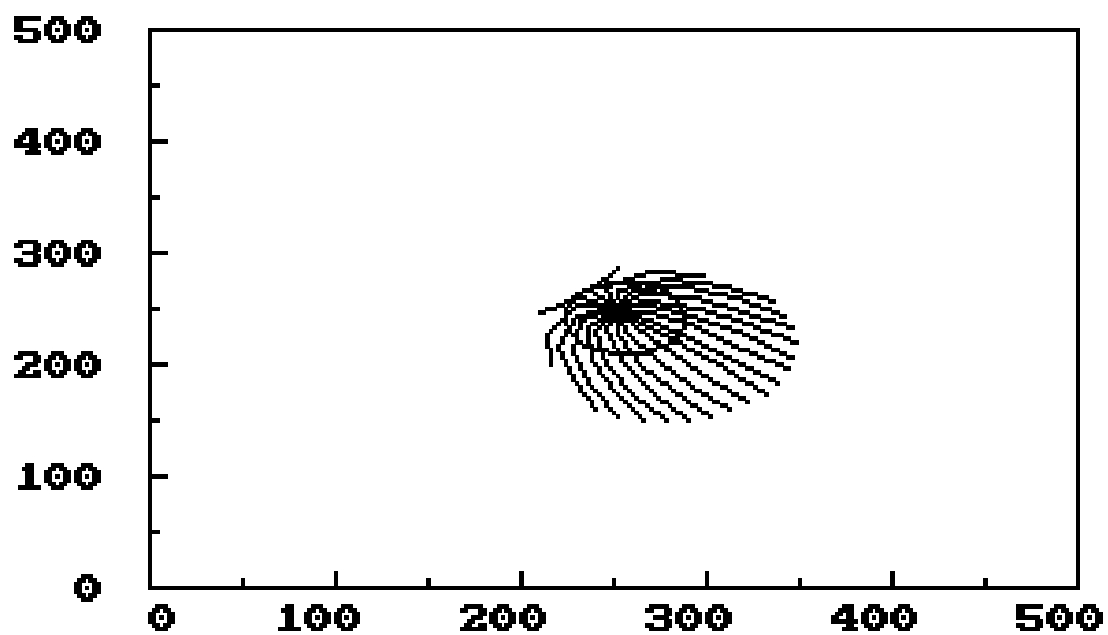
ALJIBE LOS TRES AMIGOS



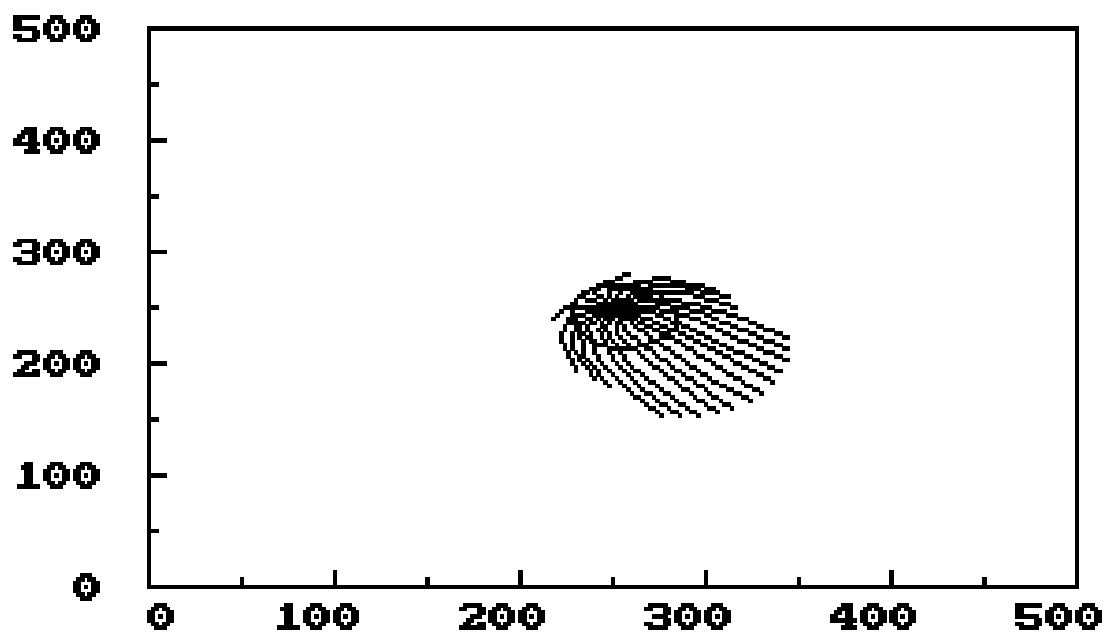
ALJIBE LOS VAGONES



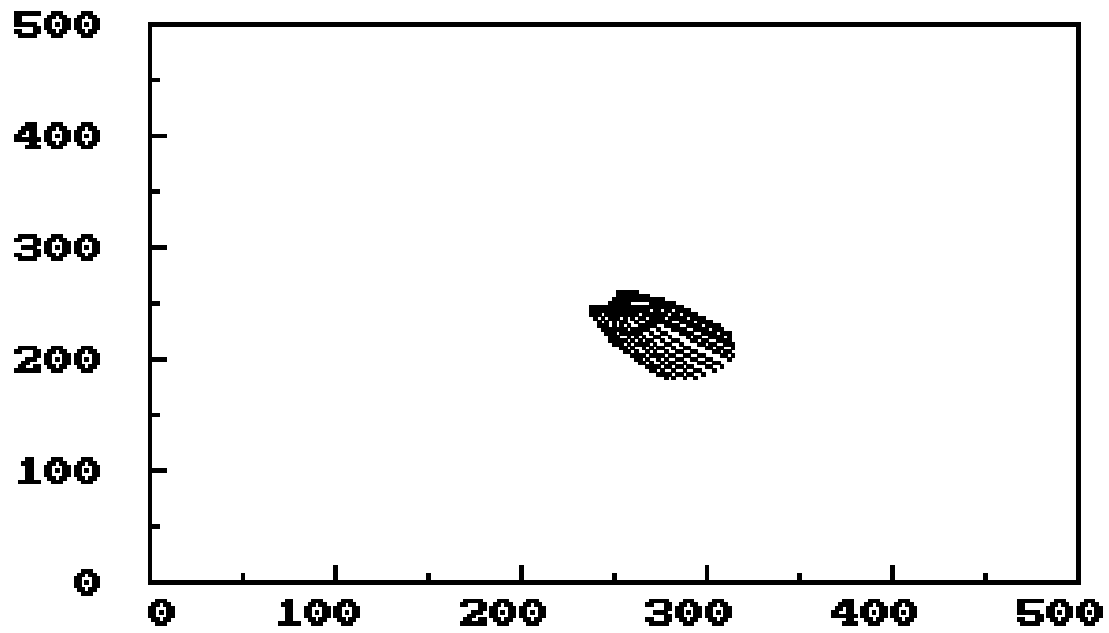
ALJIBE MOCARI



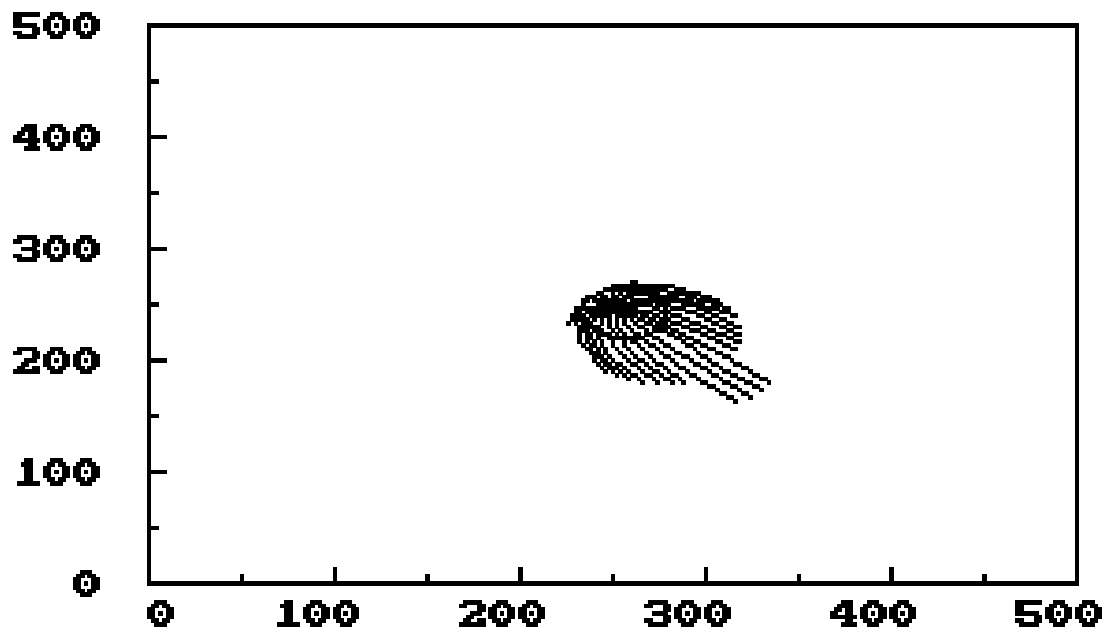
ALJIBE MONROY



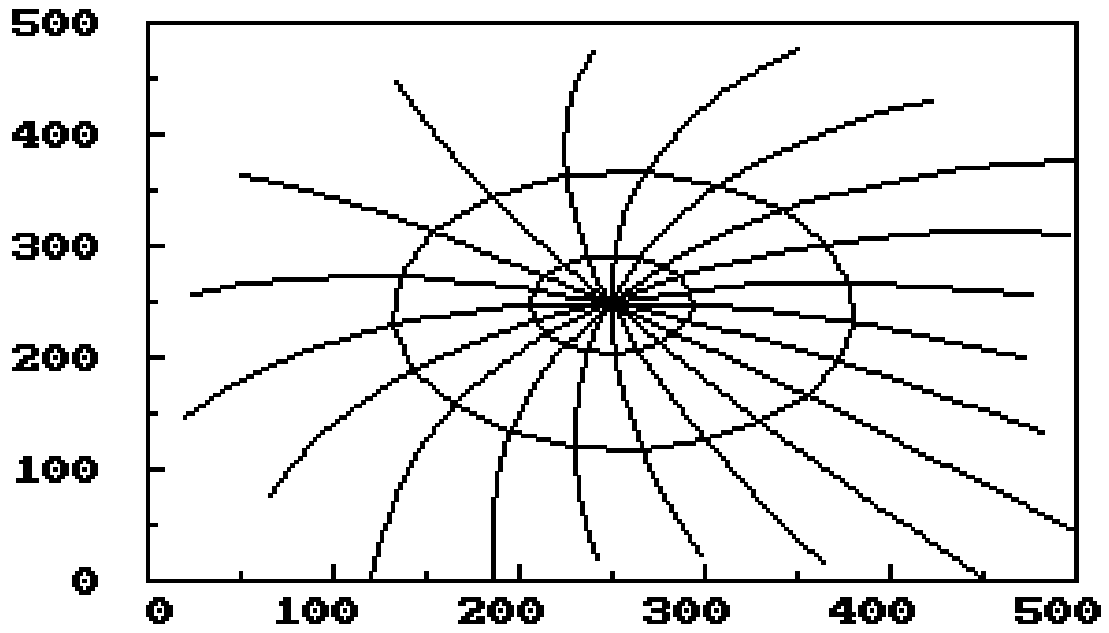
ALJIBE MONTECILLO



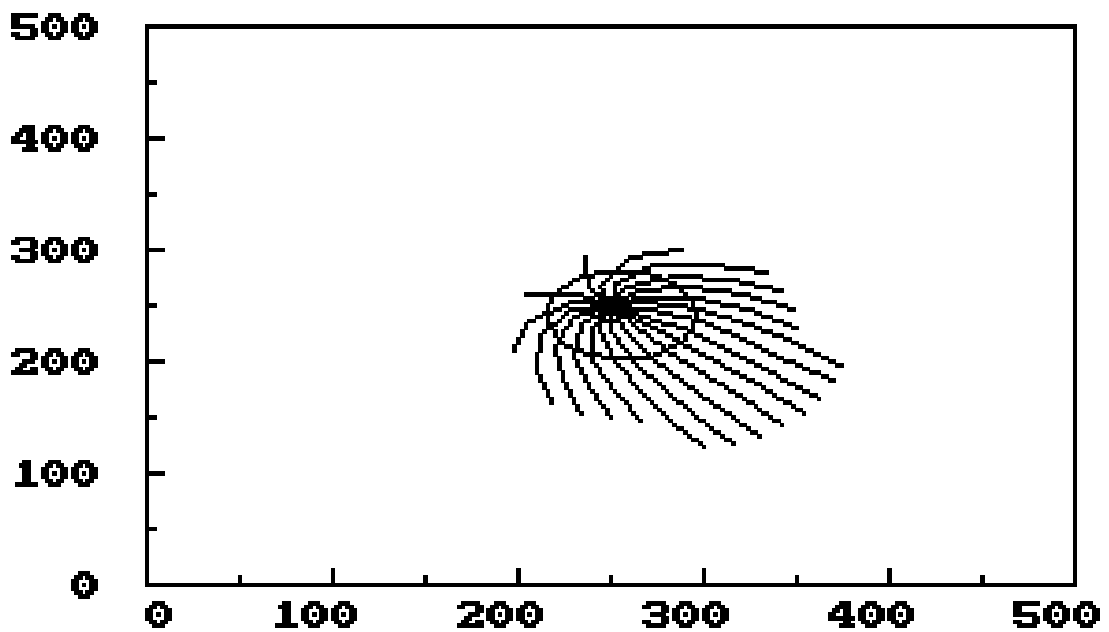
ALJIBE MORALEJA



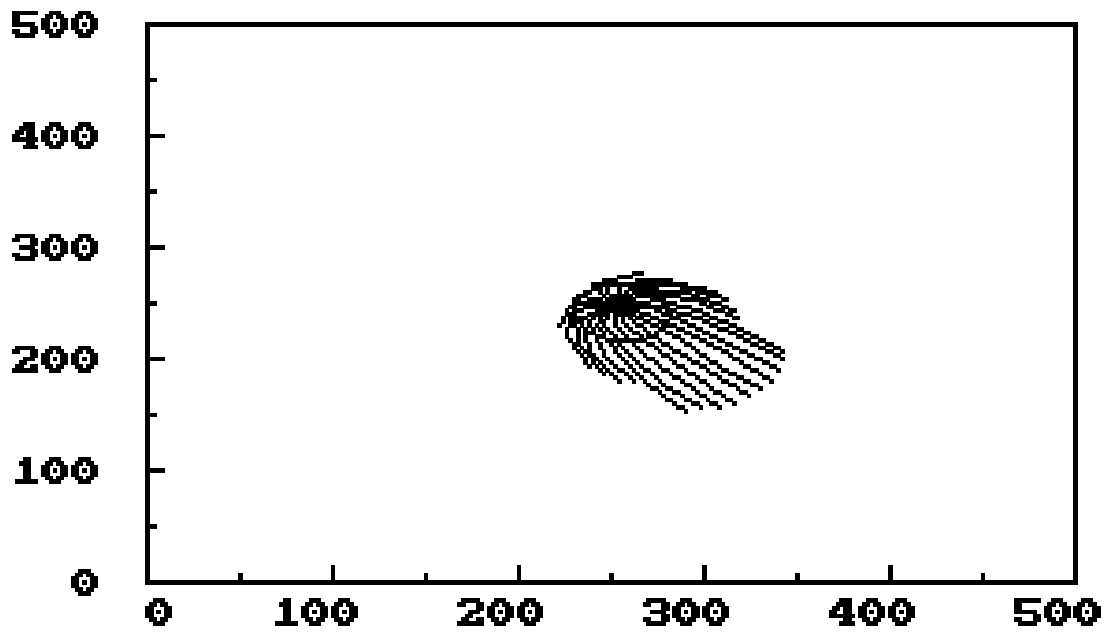
ALJIBE PIQUETEADERO LOS TRONCOS



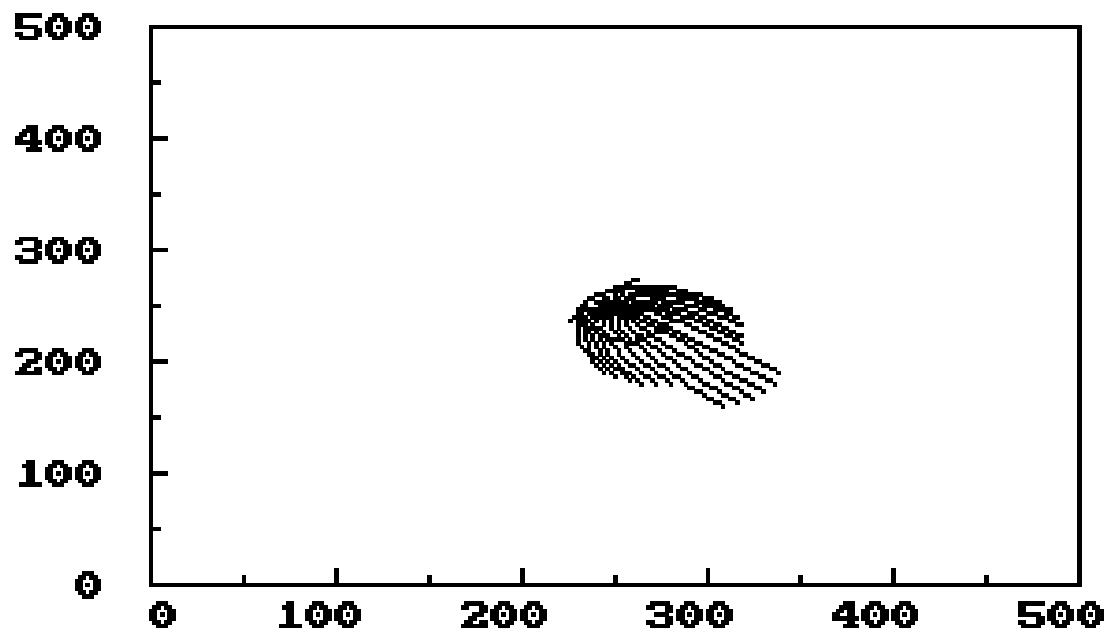
ALJIBE RADIO NACIONAL 1



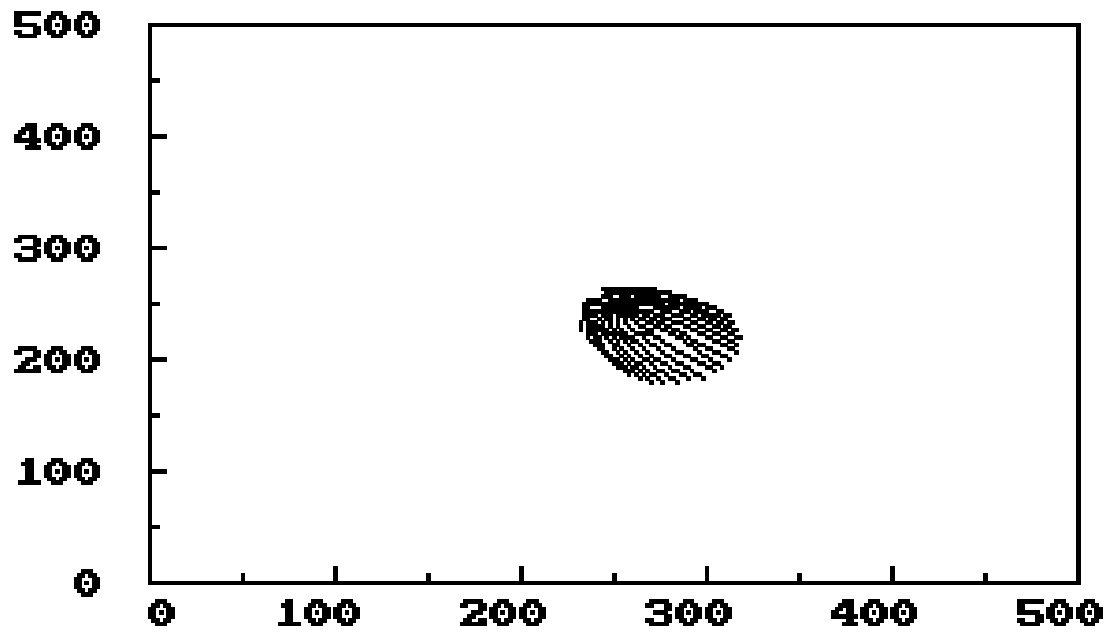
ALJIBE RADIO NACIONAL



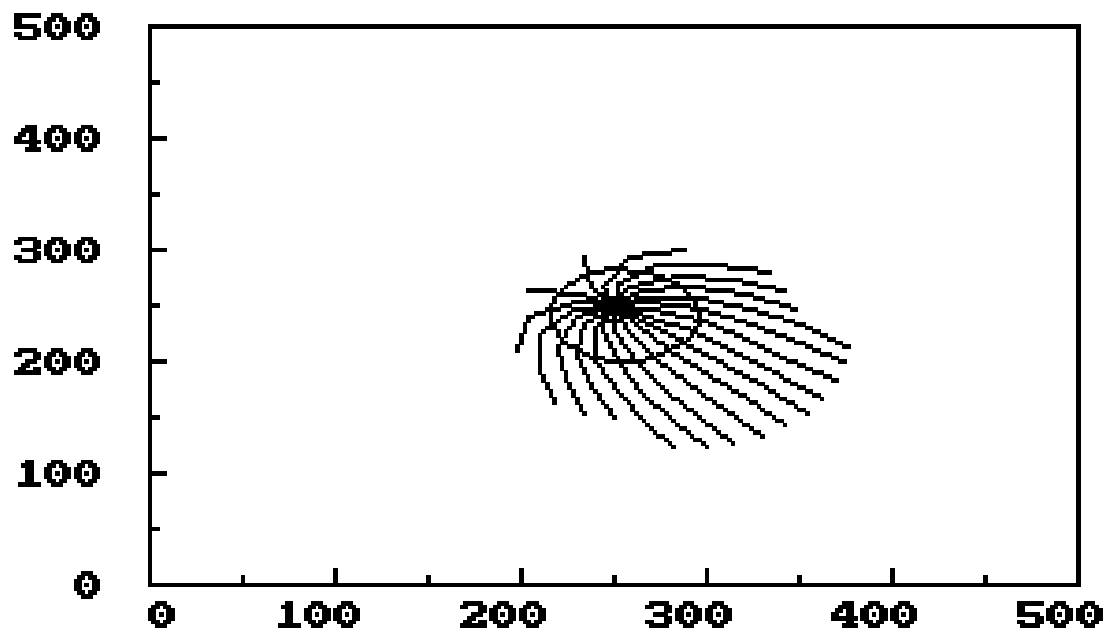
ALJIBE ROSAS COLOMBIANAS



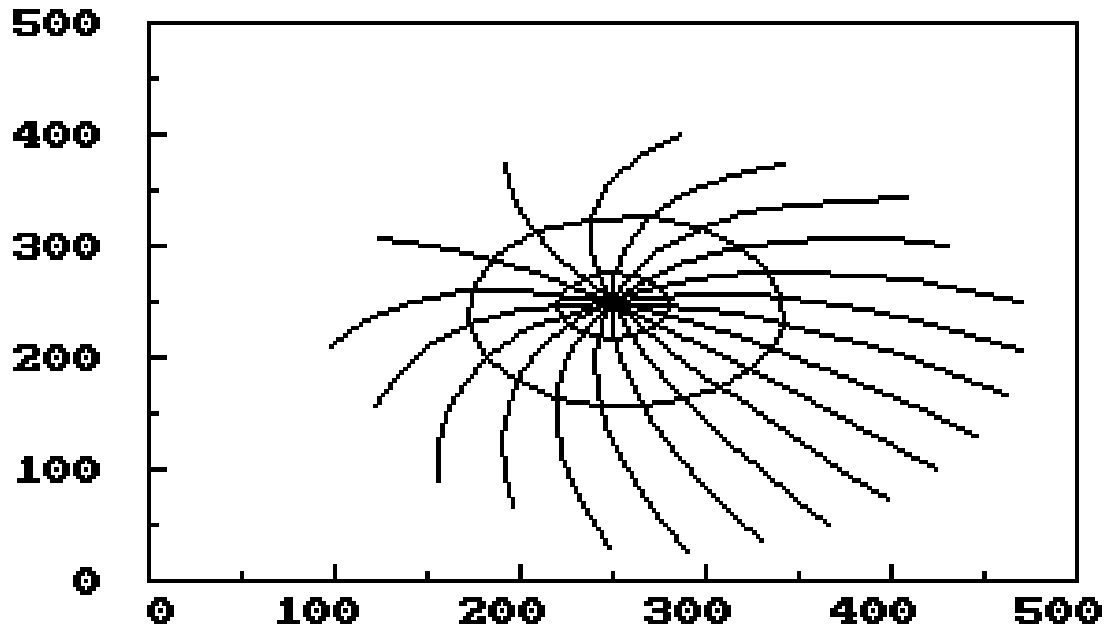
ALJIBE SAN ANTONIO



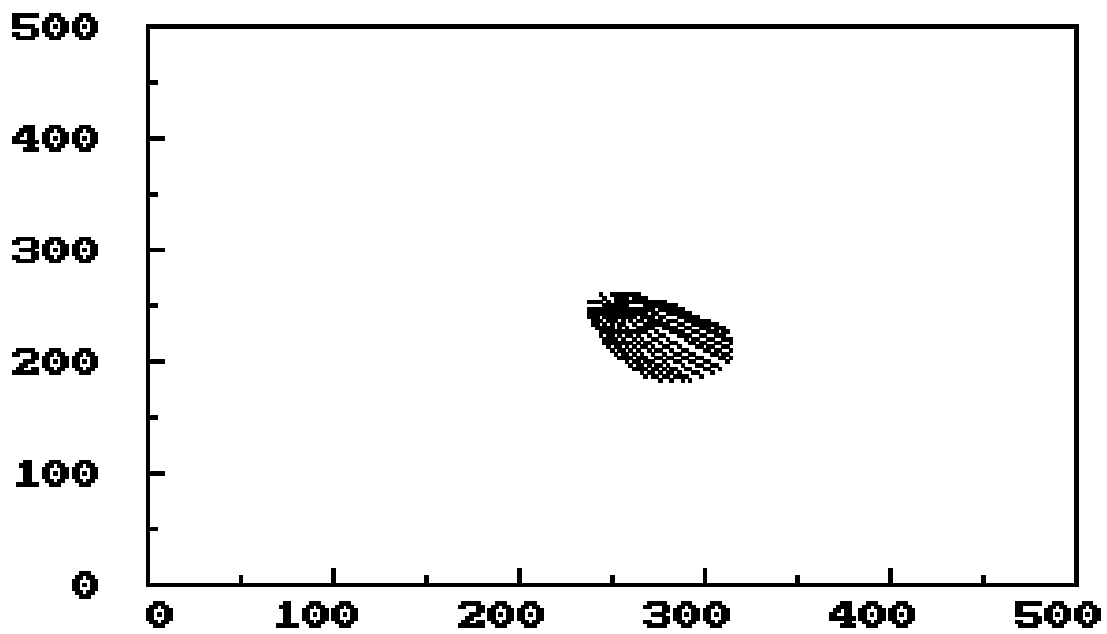
ALJIBE SAN CAMILO



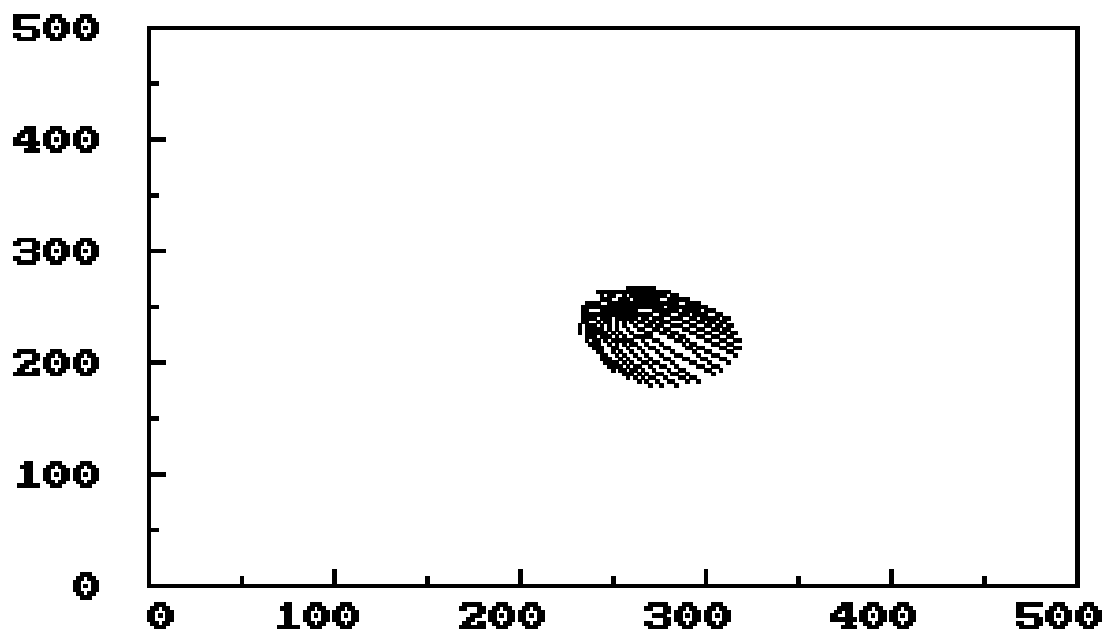
ALJIBE SAN CARLOS 1



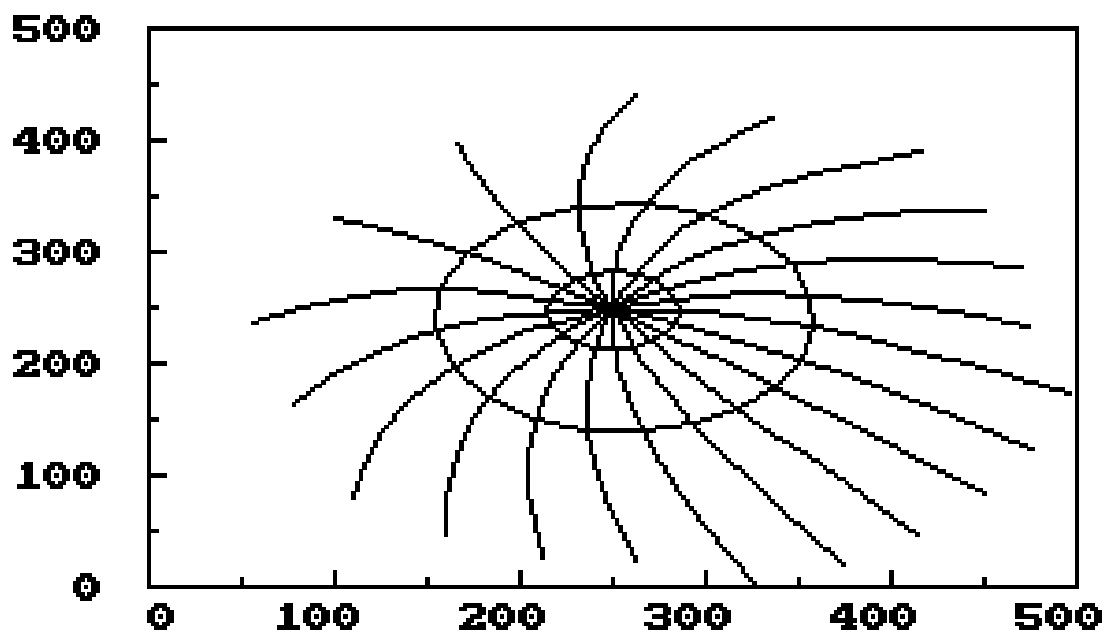
ALJIBE SAN IGNACIO



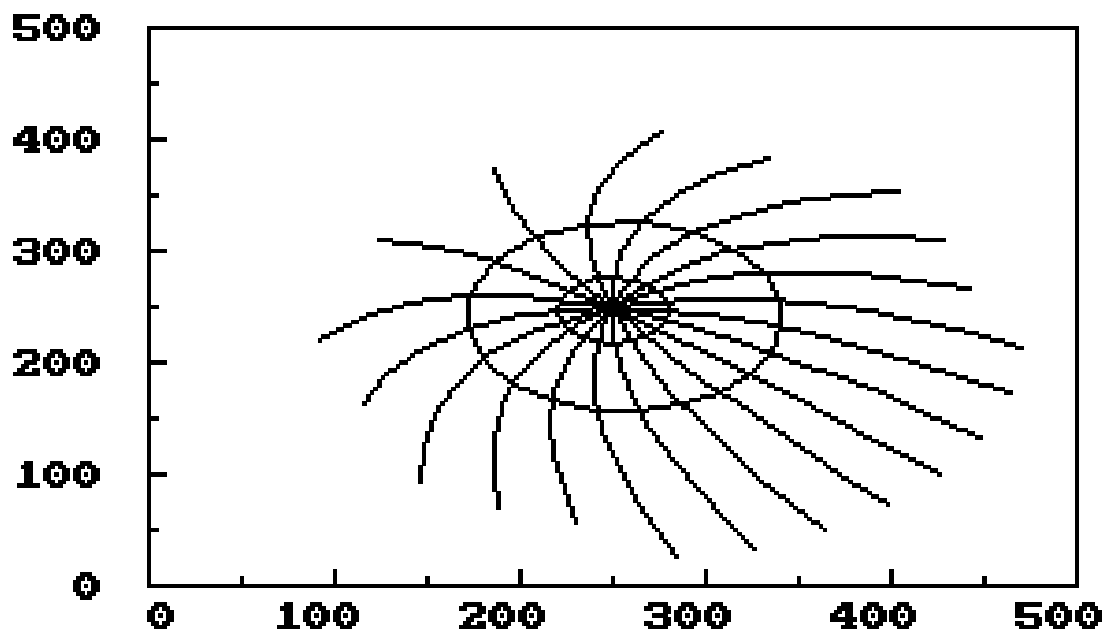
ALJIBE SAN ISIDRO



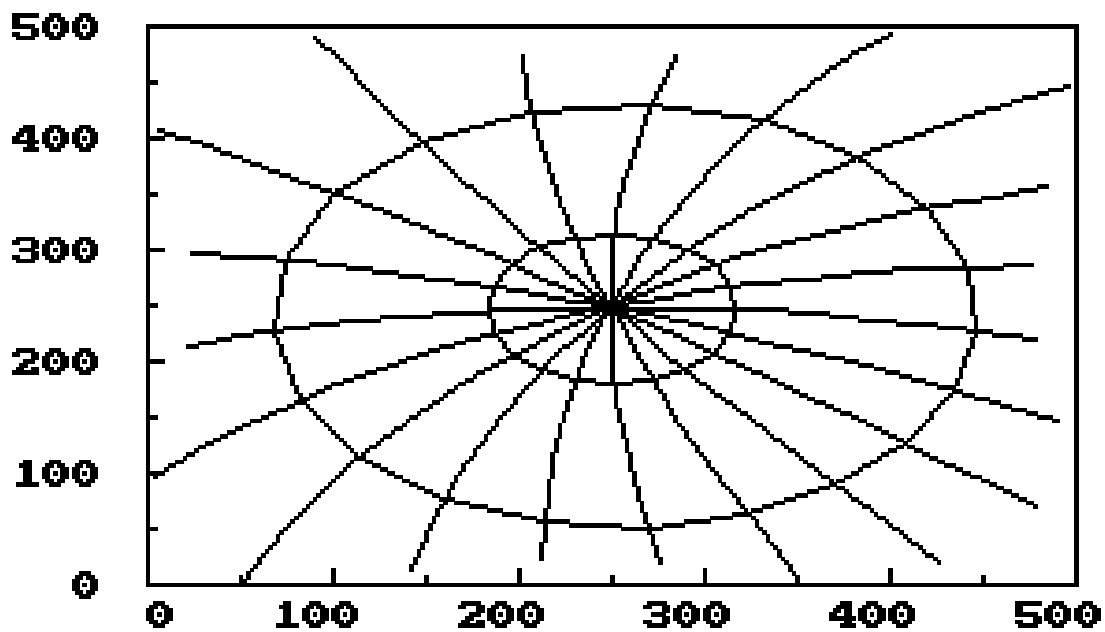
ALJIBE SAN JOSÉ



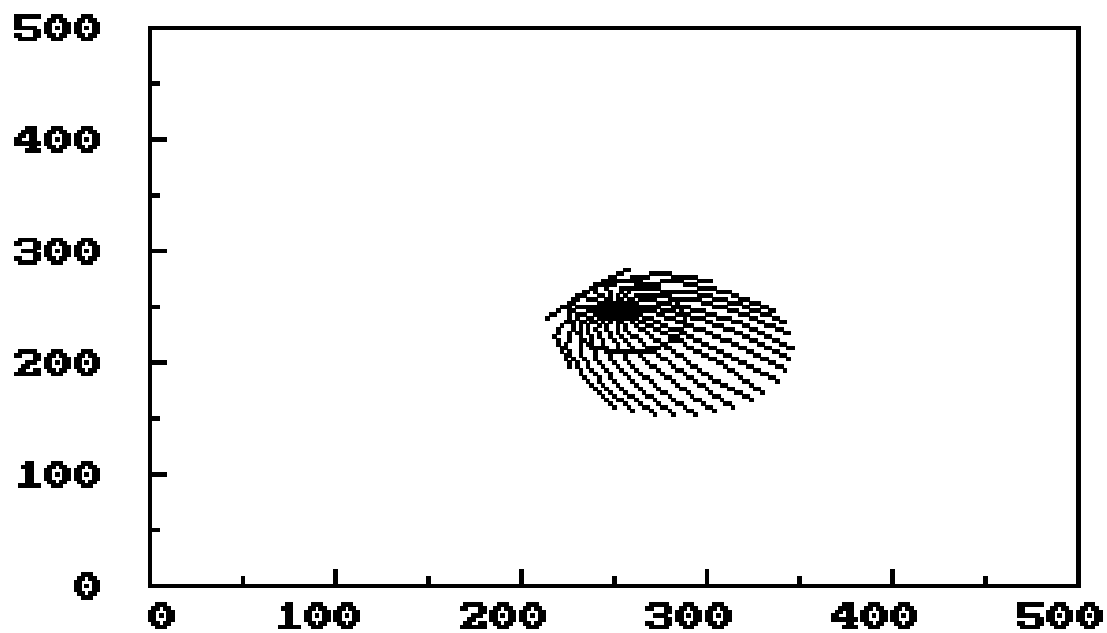
ALJIBE SAN LUIS



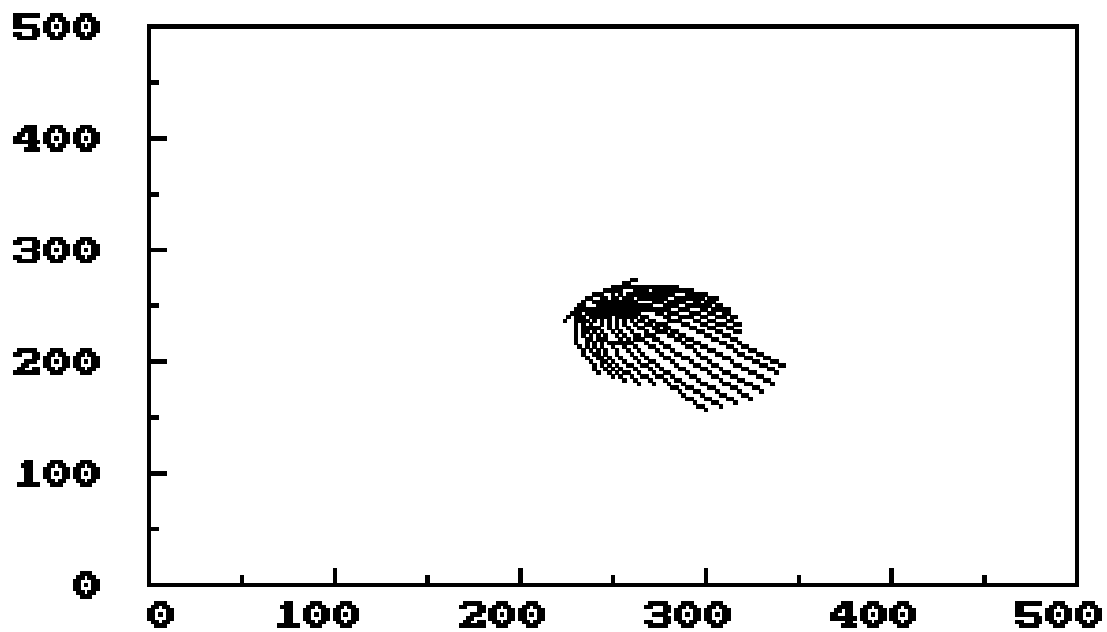
ALJIBE SAN NASARIO



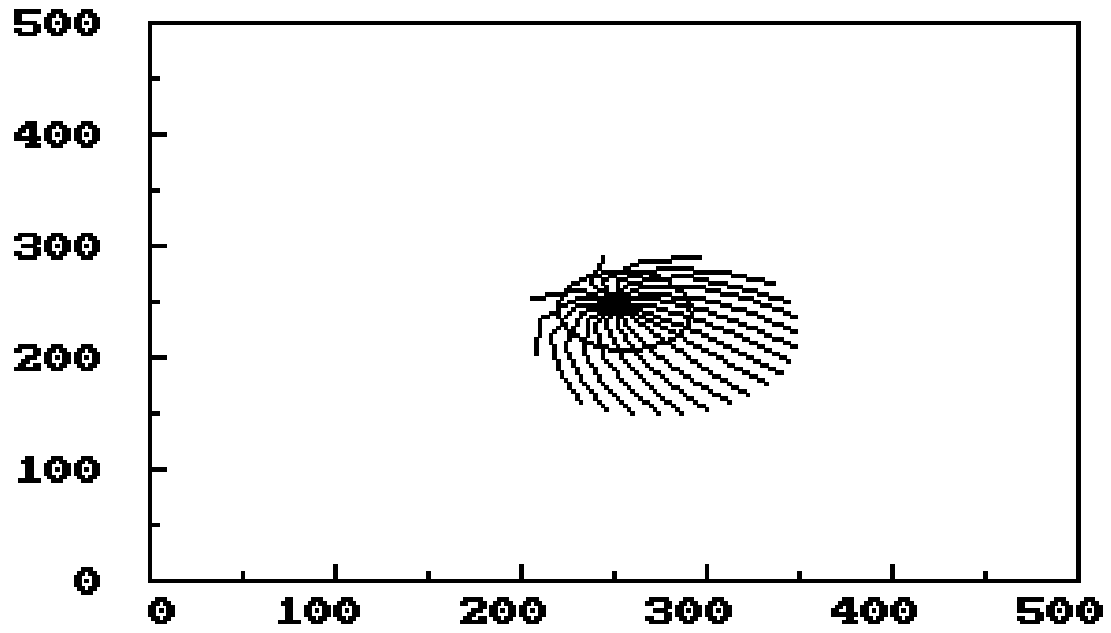
ALJIBE SAN PASCUAL



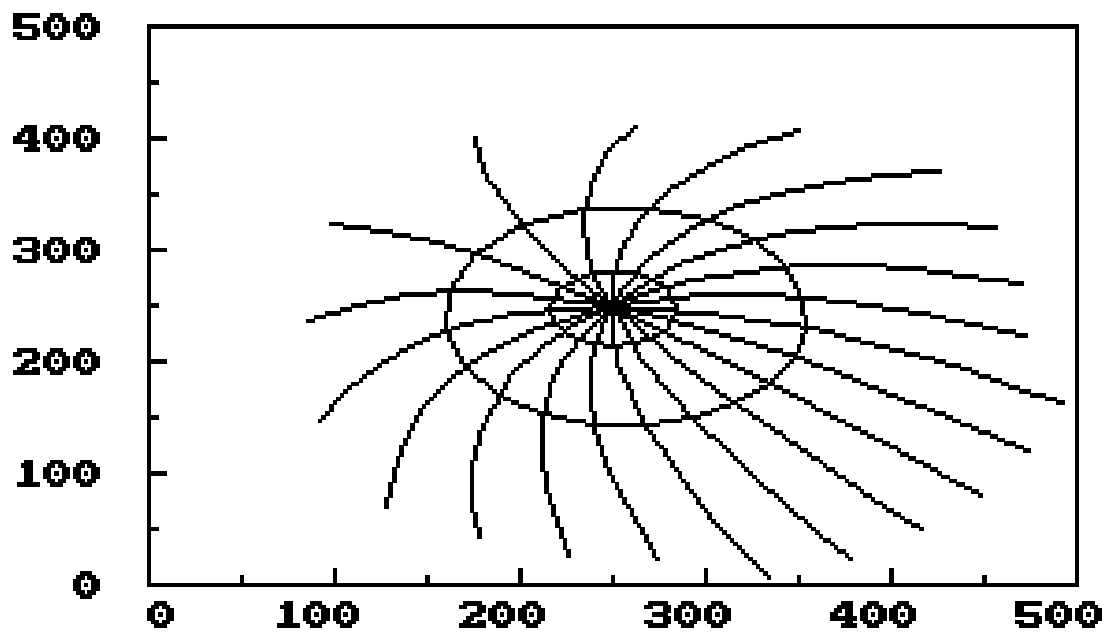
ALJIBE SAN PEDRO



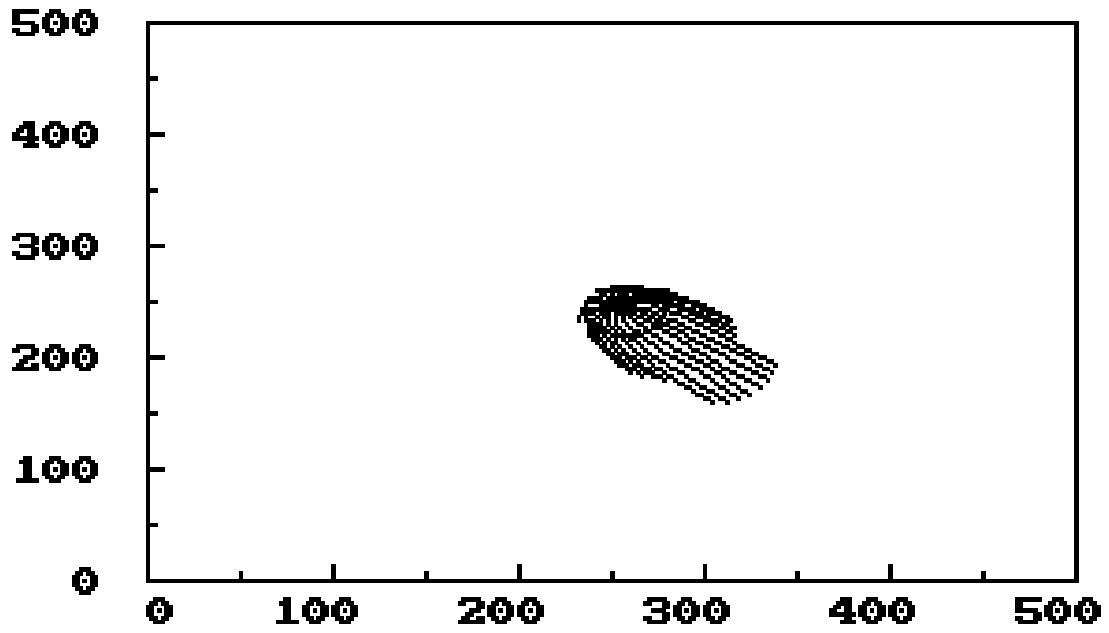
ALJIBE SAN VICENTE



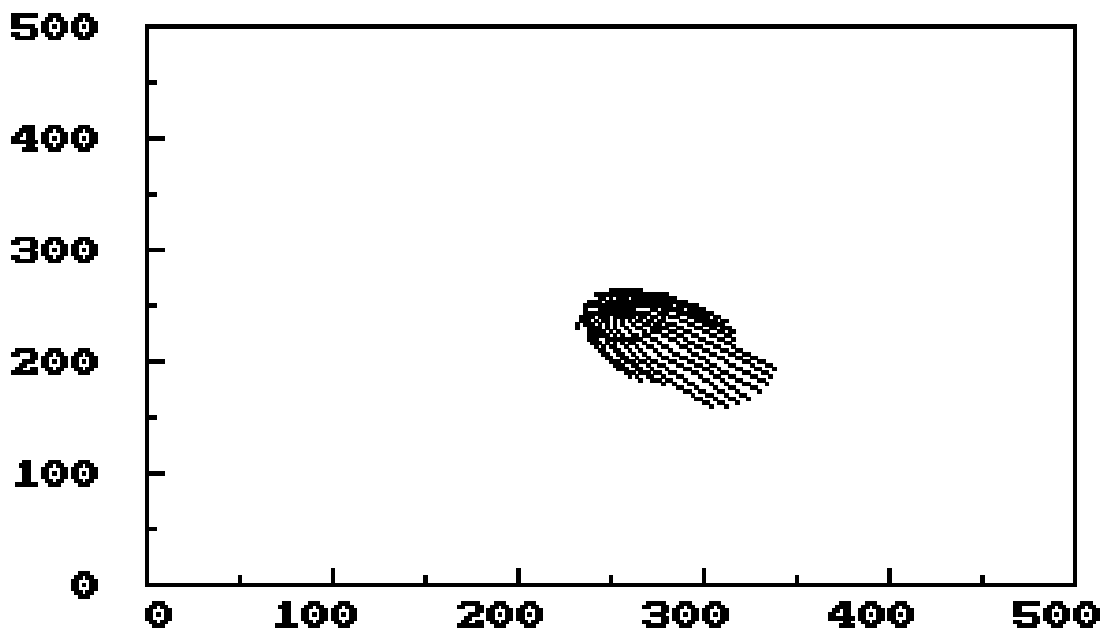
ALJIBE SANTA CAROLINA



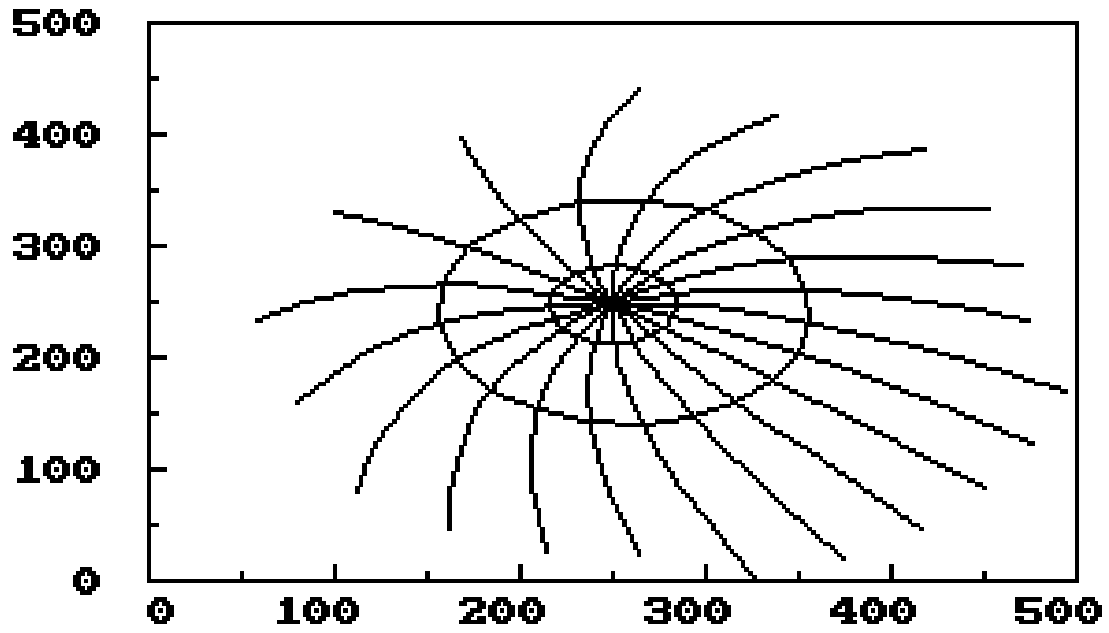
ALJIBE SANTA MARIA



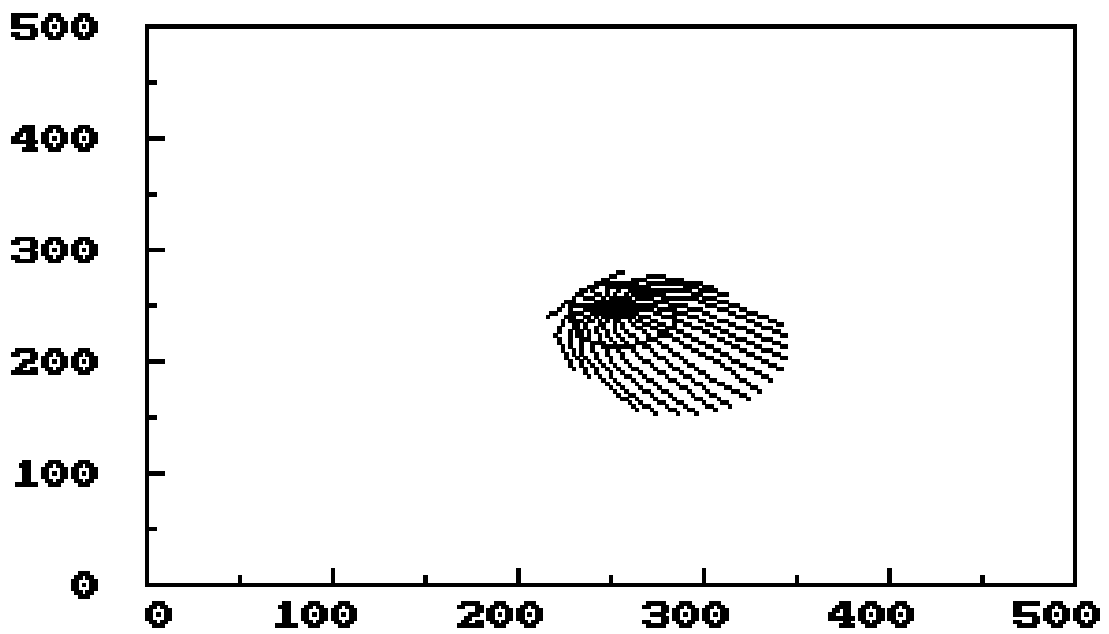
ALJIBE SANTA ROSA II



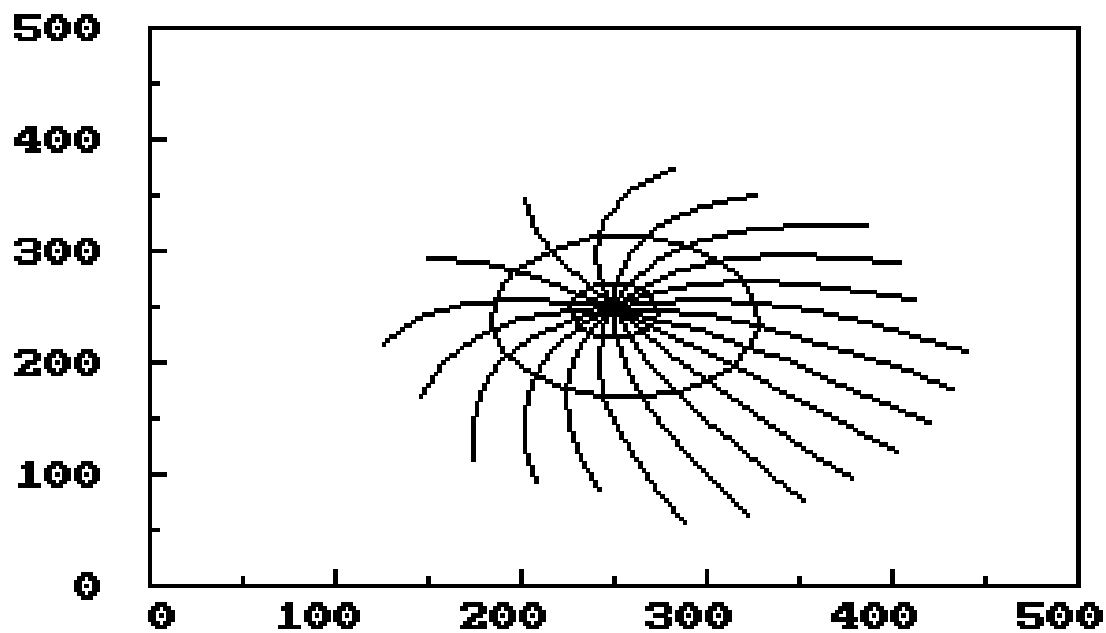
ALJIBE SANTA TERESA



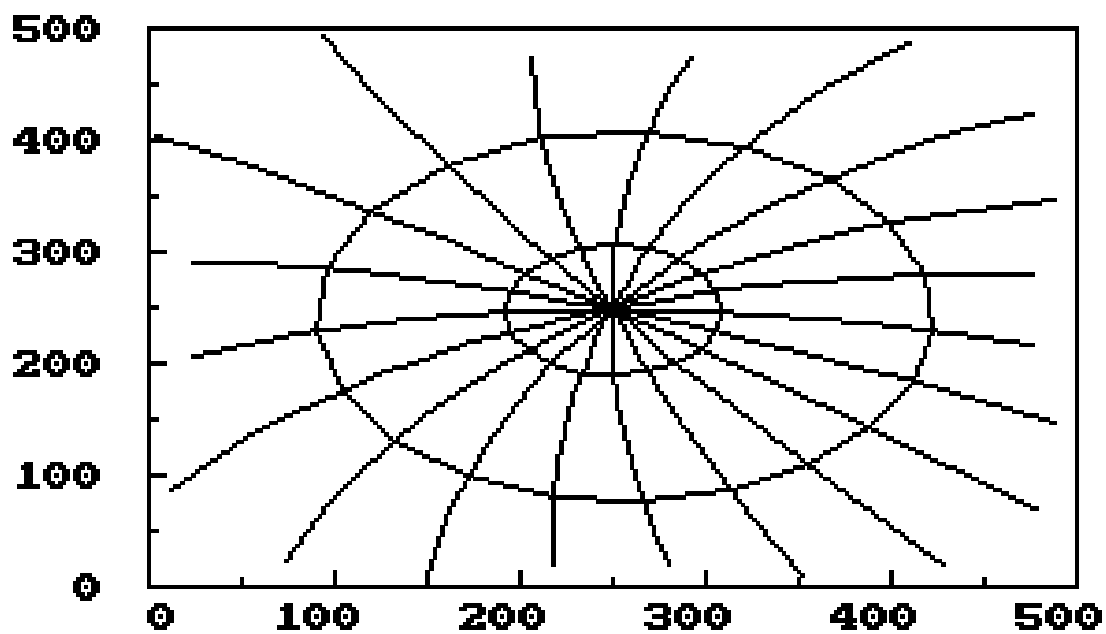
ALJIBE SANTALUCIA



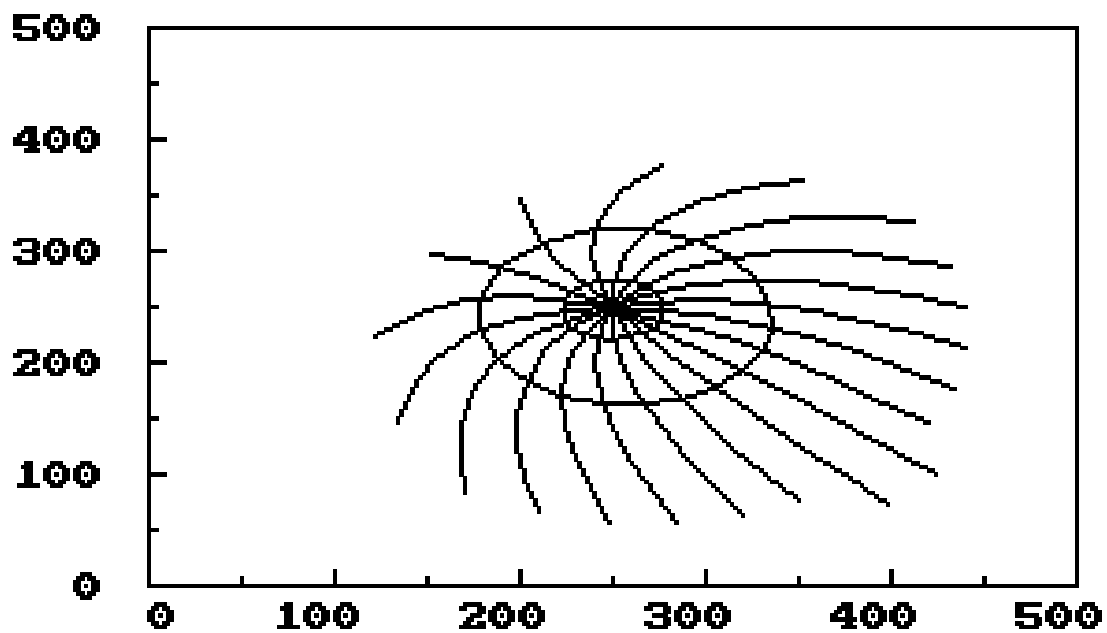
ALJIBE SANTA TERESA 1



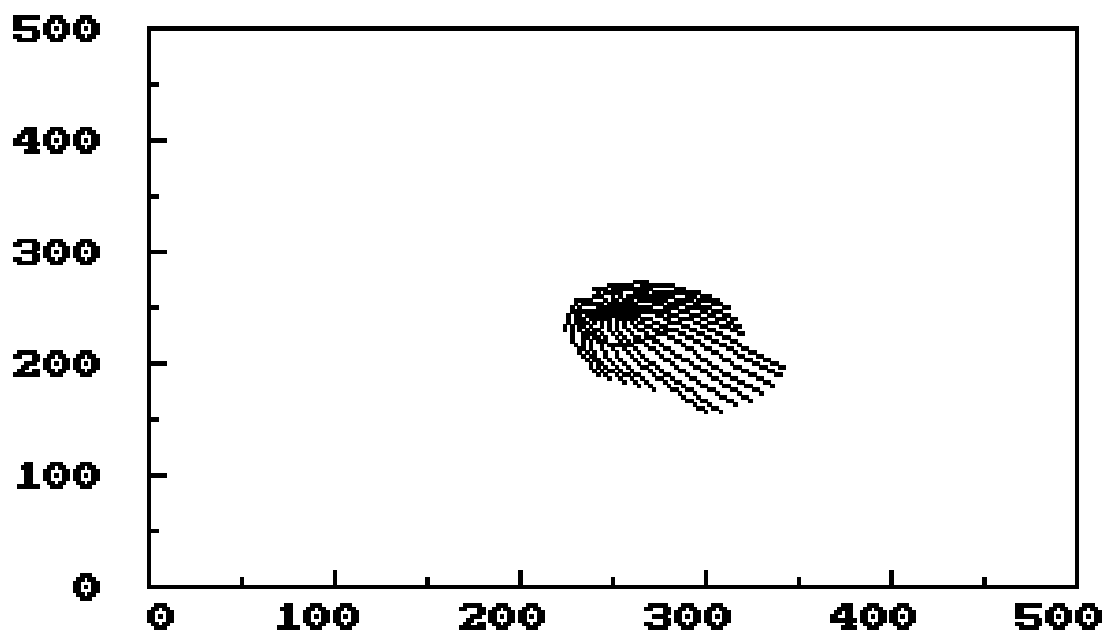
ALJIBE SANTA TERESA 2



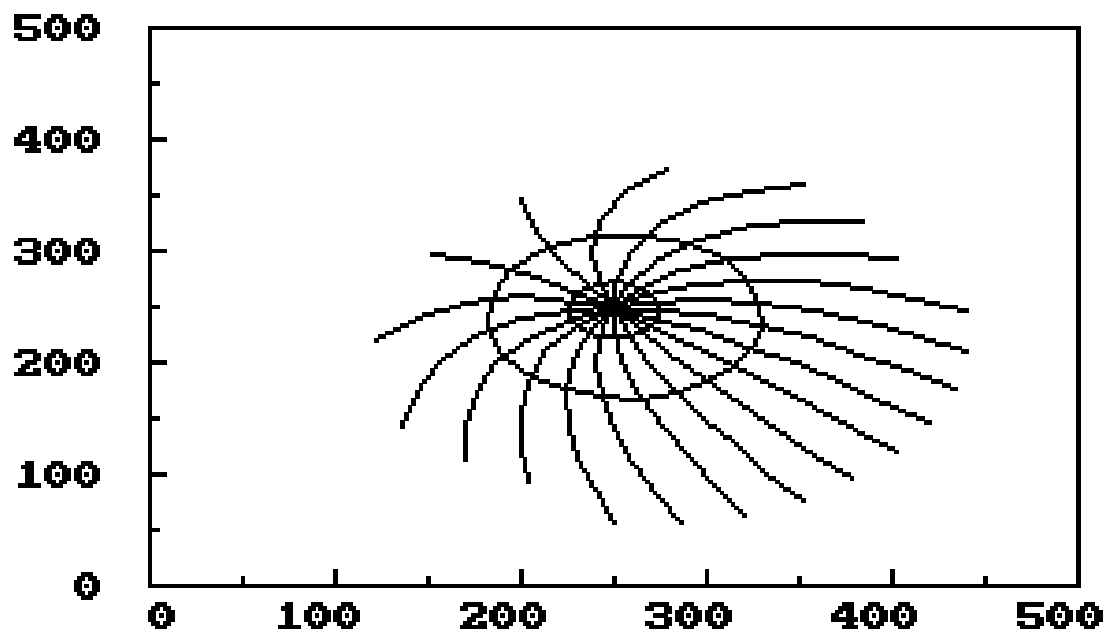
ALJIBE SINTRA



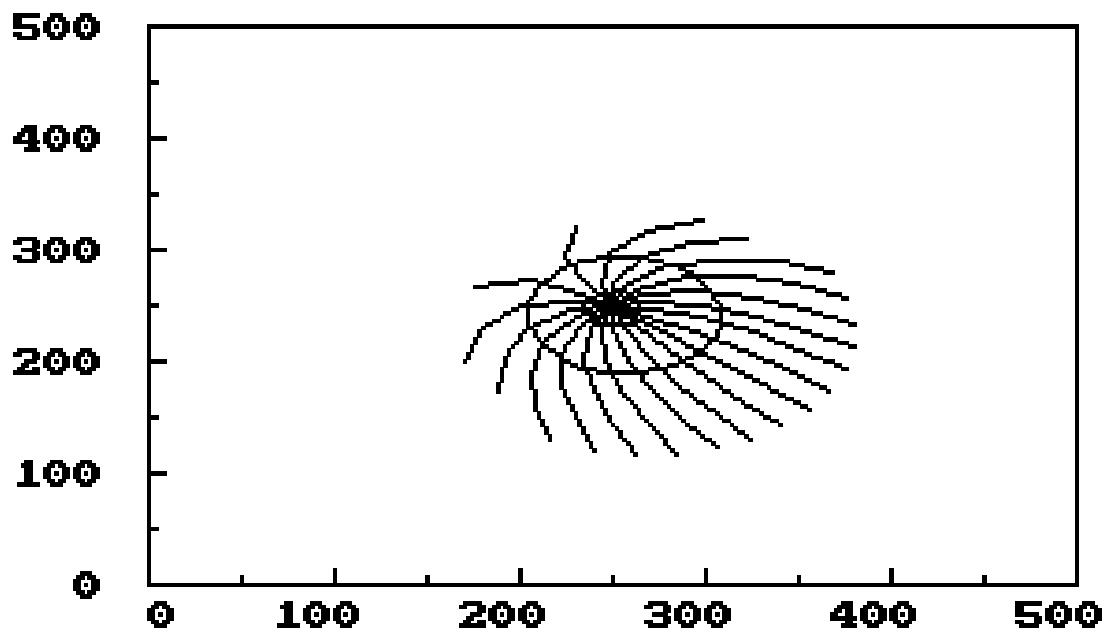
ALJIBE YADIRA



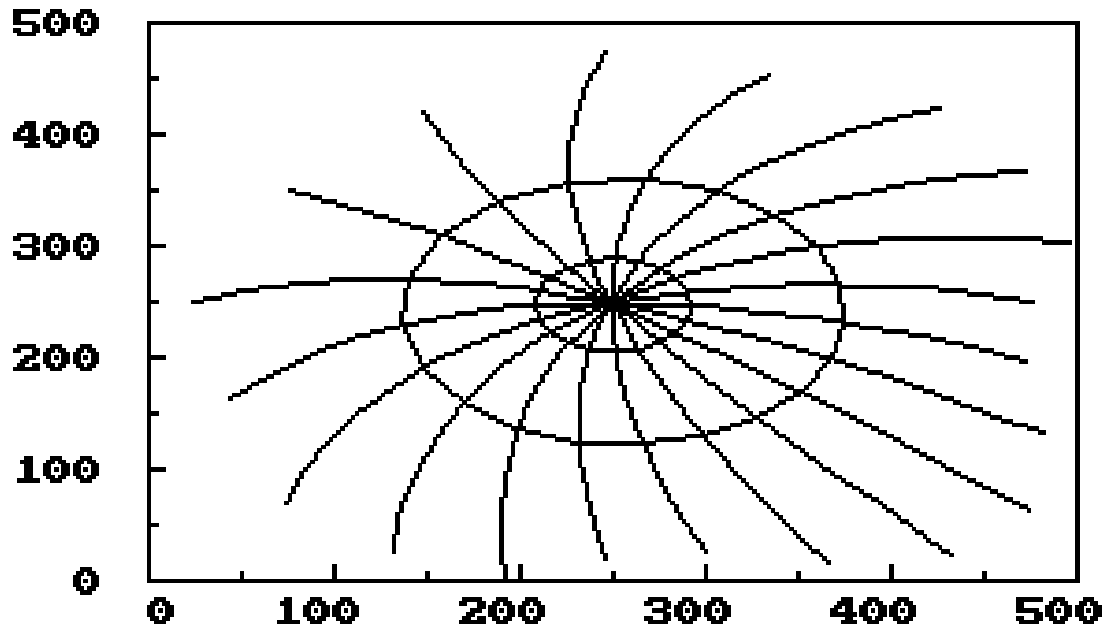
ALJIBE ZELANDIA 3



ALJIBE ZELANDIA 5



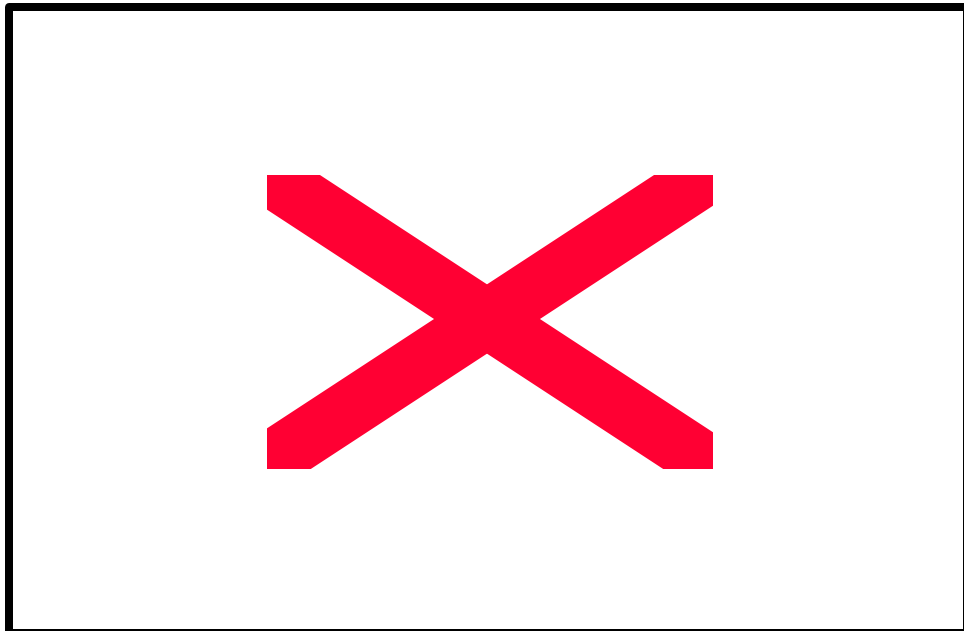
ALJIBE ZORROCOTA 2



FOTOGRAFÍA 1. VALLE DEL RÍO SUBACHOQUE.



FOTOGRAFÍA 2. VALLE DEL RÍO SUBACHOQUE – ZONAS DE RECARGA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.



CAUCE DEL RÍO SUBACHOQUE



FOTOGRAFÍA 3.

**MUNICIPIO DE
SUBACHOQUE.**



FOTOGRAFIA 4

**LOCALIDAD LA
PRADERA**

FOTOGRAFÍA 5. USOS DEL SUELO – CULTIVOS TRANSITORIOS.



FOTOGRAFÍA 6. TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE PARA PRÁCTICAS AGRÍCOLAS.



FOTOGRAFÍA 7. CULTIVOS DE FLORES – MUNICIPIO EN ROSAL.



FOTOGRAFÍA 8. ACTIVIDADES DE EXTRACCIÓN – PERFIL GEOLÓGICO.



FOTOGRAFÍA 9. VERTIMIENTOS DE AGUAS DE ORIGEN DOMÉSTICO.



FOTOGRAFÍA 10. AFLUENTE – QUEBRADA CRUZ VERDE

