



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN CAUSADA POR LA  
EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA PEXA, QUININDÉ-  
PROVINCIA DE ESMERALDAS”.**

**TESIS DE GRADO**  
**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: JAVIER IGNACIO BASANTES VALLEJO**  
**TUTOR: DR. ROBERT CAZAR R.**

**RIOBAMBA-ECUADOR**  
**2015**

## **CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL**

El tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: **“ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN CAUSADA POR LA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA PEXA, QUININDÉ-PROVINCIA DE ESMERALDAS”**, de responsabilidad del señor egresado Javier Ignacio Basantes Vallejo, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

**Dr. Robert Cazar  
DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Dr. Fausto Yaulema  
MIEMBRO DE TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

“Yo, Javier Ignacio Basantes Vallejo, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Estudio de la Contaminación Causada por la Extractora de Aceite de Palma PEXA, Quinindé-Provincia de Esmeraldas y el patrimonio intelectual de la misma le pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”.

---

**Javier Ignacio Basantes Vallejo**

## AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento primero a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a la Facultad de Ciencias y a la Escuela de Ciencias Químicas; a sus docentes, empleados y demás trabajadores que me han demostrado desde el primer día que asistí a clases que la sabiduría nace de la humildad, que lo aprendido en un aula de clases en ocasiones tiene más que ver con la ética y los sentimientos que con la razón, que el conocimiento es infinito y nunca se deja de aprender, y sobretodo que los estudiantes que han pasado por esta institución siempre aplican sus destrezas en el fortalecimiento y progreso de la sociedad y el país.

Al Dr. Robert Cazar, director de este proyecto por la confianza demostrada y la asesoría prestada en los momentos requeridos que han marcado la evolución de mi tesis.

Al Dr. Fausto Yaulema, asesor de este proyecto quién desde el inicio impulsó en mí la investigación, la búsqueda de respuestas y justificaciones frente a todas las conjeturas planteadas y que no dudó en mi punto de vista cuando así lo consideró válido.

Al Sr. Patricio Egas, Gerente de la Extractora de Aceite de Palma PEXA S.A. y todo su personal, por brindarme su ayuda, acceso a la información y facilidades de ingreso e investigación dentro de sus instalaciones.

Al Ing. Jaime Pazmiño, y todo el personal de la consultora CASTECAM por la coordinación y logística mantenida en las visitas y la recopilación de información necesaria para la ejecución de mi proyecto.

Finalmente mi agradecimiento muy sincero a todas las personas a quienes sin quererlo pude omitir, aquellas que viven, trabajan y que al igual que yo, hacen realidad sus sueños en esta tierra.

Javier Ignacio Basantes Vallejo.

## **DEDICATORIA**

A Dios y a la Virgen María Auxiliadora que siempre me acompañan, me protegen y me guían en todo momento.

A mis padres Ricardo y Mercedes quienes con su trabajo, su sacrificio, su comprensión, su generosidad y su amor son tan dueños de este logro como yo.

A mi hermana Lissette porque al verla cada día comprendo lo afortunado soy en tenerla a mi lado.

A mis tíos y primos que son personas muy generosas, mi educación estudiantil no habría tomado el impulso que tomó sin su ayuda.

A mis amigos, los de siempre, con quienes he recorrido este camino de la educación y con los que compartí momentos únicos e irrepetibles.

A mis abuelitos, quienes me enseñaron que todo lo que se hace con fe y devoción adquiere un significado más importante y orienta nuestras vidas.

Javier Ignacio Basantes Vallejo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	xv
ÍNDICE DE MAPAS.....	xvi
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	xvii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	6
<b>CAPÍTULO I</b>	
1. MARCO TEORICO.....	7
1.1. Marco Filosófico.....	7
1.2. La Palma Africana en el Ecuador.....	12
1.3. Cultivo y Producción de la Palma Africana.....	13
1.3.1. Fertilización de los Cultivos.....	14
1.3.2. Cosecha de los cultivos.....	14
1.4. Plantas extractoras de Aceite de Palma en el Ecuador.....	15
1.5. Caracterización de Plumas Contaminantes.....	16
1.5.1. Transporte y destino de los contaminantes en el subsuelo.....	16
1.5.2. Procesos físicos que controlan el transporte de contaminantes en el subsuelo.....	17
1.5.3. Procesos Químicos que Gobiernan el Transporte en el Subsuelo.....	21
1.5.4. Procesos Biológicos que gobiernan el Transporte de Contaminantes.....	22
1.5.5. Factores ambientales que inciden en la Biodegradación.....	23
1.5.6. Características y Propiedades de los Contaminantes.....	24
1.6. Tratamiento de las Aguas Residuales Generadas.....	25
1.7. Diagnóstico Ambiental (Línea Base).....	26
1.8. Procesos y Modelos de Migración de Contaminantes.....	28
1.8.1. Modelización del Transporte y Difusión en aguas subterráneas.....	29
1.8.2. <i>Ecuaciones de flujo y traslado</i> .....	30

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>36</b>
<b>2.1.</b>	<b>Fuentes de Información Inicial</b> .....	<b>36</b>
<b>2.2.</b>	<b>Coordenadas de Ubicación, Registro Visual y Mapas Geográficos</b> .....	<b>36</b>
<b>2.2.1.</b>	<i>Registro Visual y Toma de Coordenadas</i> .....	<b>36</b>
<b>2.2.2.</b>	<i>Cartografía y Mapa de Ubicación</i> .....	<b>37</b>
<b>2.2.3.</b>	<i>Mapas Específicos de Estudio</i> .....	<b>37</b>
<b>2.3.</b>	<b>Actividades que se Realizan en la Extractora</b> .....	<b>37</b>
<b>2.3.1.</b>	<i>Áreas y lugares de operación de la Extractora</i> .....	<b>38</b>
<b>2.4.</b>	<b>Levantamiento de la Línea Base para el Proyecto</b> .....	<b>38</b>
<b>2.4.1.</b>	<i>Diagnóstico ambiental</i> .....	<b>38</b>
<b>2.4.2.</b>	<i>Determinación del área de influencia (AI) de la extractora PEXA S.A.</i> .....	<b>39</b>
<b>2.4.3.</b>	<i>Componentes de la línea base ambiental</i> .....	<b>40</b>
<b>2.4.4.</b>	<i>Componente Físico</i> .....	<b>40</b>
<b>2.4.5.</b>	<i>Componente Biótico</i> .....	<b>41</b>
<b>2.4.6.</b>	<i>Componente Socioeconómico y Cultural</i> .....	<b>42</b>
<b>2.5.</b>	<b>Metodologías del Muestreo</b> .....	<b>43</b>
<b>2.5.1.</b>	<i>Requisitos para un muestreo confiable</i> .....	<b>43</b>
<b>2.5.2.</b>	<i>Plan de muestreo y Metodología</i> .....	<b>43</b>
<b>2.5.3.</b>	<i>Personal requerido para el muestreo</i> .....	<b>44</b>
<b>2.5.4.</b>	<i>Materiales y equipos</i> .....	<b>45</b>
<b>2.5.5.</b>	<i>Metodología para el Muestreo de Aguas</i> .....	<b>46</b>
<b>2.5.6.</b>	<i>Metodología para el Muestreo de Lodos</i> .....	<b>48</b>
<b>2.5.7.</b>	<i>Etiquetado, Transporte y Entrega de las Muestras</i> .....	<b>50</b>
<b>2.6.</b>	<b>Análisis IN SITU</b> .....	<b>52</b>
<b>2.6.1.</b>	<i>Análisis de Temperatura</i> .....	<b>52</b>
<b>2.6.2.</b>	<i>Prueba sensitiva in situ</i> .....	<b>52</b>
<b>2.6.3.</b>	<i>Determinación de la Velocidad de infiltración y Conductividad Hidráulica</i> .....	<b>53</b>
<b>2.6.3.1.</b>	<i>El Método de Münz</i> .....	<b>54</b>
<b>2.6.3.2.</b>	<i>Determinación de la Conductividad Hidráulica (K)</i> .....	<b>56</b>
<b>2.7.</b>	<b>Determinación de la Densidad</b> .....	<b>57</b>
<b>2.7.1.</b>	<i>Método del Picnómetro</i> .....	<b>58</b>
<b>2.8.</b>	<b>Dimensionamiento de la Laguna de Oxidación</b> .....	<b>59</b>

2.9.	<b>Modelo de flujo en el Transporte de Aguas Subterráneas</b> .....	60
2.9.1.	<i>Modelo Matemático de MODFLOW</i> .....	61
2.9.2.	<i>Aplicación del Modelo Visual MODFLOW 2011.1</i> .....	62
2.9.3.	<i>El uso del módulo MT3DMS</i> .....	63
<b>CAPÍTULO III</b>		
3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	64
3.1.	<b>Ubicación y Contexto de la Extractora de Aceite de Palma PEXA S.A.</b> .....	64
3.1.1.	<i>Ubicación Geográfica y Reseña</i> .....	64
3.1.2.	<i>Distribución física de la Extractora</i> .....	65
3.2.	<b>Procesos Realizados en la Extractora de Aceite de Palma PEXA S.A.</b> .....	66
3.2.1.	<i>Recepción de los Racimos</i> .....	67
3.2.2.	<i>La Esterilización</i> .....	67
3.2.3.	<i>El Proceso de Desfrutación</i> .....	68
3.2.4.	<i>El Proceso de Digestión</i> .....	69
3.2.5.	<i>Proceso de Prensado</i> .....	70
3.2.6.	<i>Proceso de Clarificación</i> .....	71
3.2.7.	<i>Clarificación Dinámica</i> .....	72
3.3.	<b>Diagnóstico Ambiental</b> .....	73
3.3.1.	<i>Determinación del área de influencia (AI) de la Extractora PEXA S.A.</i> .....	73
3.3.2.	<i>Área de Influencia directa (AID)</i> .....	73
3.3.3.	<i>Área de Influencia indirecta (AII)</i> .....	73
3.4.	<b>Línea Base del Área de Influencia del Proyecto</b> .....	74
3.4.1.	<i>Componente Físico</i> .....	74
3.4.1.1.	<i>Climatología</i> .....	74
3.4.1.2.	<i>Geomorfología y Geología</i> .....	78
3.4.1.3.	<i>Hidrología del Área de Estudio</i> .....	81
3.4.1.4.	<i>Uso del suelo</i> .....	82
3.4.2.	<i>Componente Biótico</i> .....	83
3.4.2.1.	<i>Flora</i> .....	84
3.4.2.2.	<i>Fauna</i> .....	85
3.4.3.	<i>Componente Antropogénico</i> .....	88
3.4.3.1.	<i>Aspectos Demográficos</i> .....	88
3.4.3.2.	<i>Condiciones económicas</i> .....	89

3.4.3.3.	<i>Vivienda</i> .....	90
3.4.3.4.	<i>Acceso a Servicios Básicos</i> .....	91
3.4.3.5.	<i>Tenencia de tierras</i> .....	91
3.4.3.6.	<i>Comercio</i> .....	92
3.4.3.7.	<i>Salud</i> .....	92
3.4.3.8.	<i>Educación</i> .....	93
3.5.	<b>Resultados de los análisis IN SITU</b> .....	93
3.5.1.	<i>Valores de Temperatura Medidos</i> .....	93
3.5.2.	<i>Resultados de la Prueba sensitiva</i> .....	94
3.6.	<b>Resultados de Infiltración y Conductividad Hidráulica</b> .....	94
3.7.	<b>Resultados de la Determinación de la Densidad</b> .....	98
3.8.	<b>Esquema 3D del Dimensionamiento de la Piscina de Oxidación</b> .....	103
3.9.	<b>Resultados del Transporte de Contaminantes con visual MODFLOW</b> .....	104
3.9.1.	<i>Parámetros de entrada</i> .....	104
3.9.2.	<i>Diseño del Modelo</i> .....	109
3.9.3.	<i>Plumas de Contaminación estudiadas en la Extractora PEXA S.A.</i> .....	111
3.9.3.1.	<i>Transporte del Cadmio (Cd)</i> .....	111
3.9.3.2.	<i>Transporte del Plomo (Pb)</i> .....	118
3.9.3.3.	<i>Transporte del Cromo Total (Cr)</i> .....	123
3.9.3.4.	<i>Transporte del Cobre (Cu)</i> .....	129
3.9.3.5.	<i>Transporte del Arsénico (As)</i> .....	134
3.9.3.6.	<i>Compuestos aromáticos (BTX)</i> .....	140
3.9.3.7.	<i>Transporte del Benceno</i> .....	140
3.9.3.8.	<i>Transporte del Tolueno</i> .....	145
3.9.3.9.	<i>Transporte de Xilenos</i> .....	150
3.9.4.	<i>Parámetros de Contaminación en la Extractora de Aceite de Palma PEXA S.A.</i> .....	156
3.9.4.1.	<i>El Tratamiento de las aguas residuales</i> .....	156
3.9.4.2.	<i>La Contaminación del suelo</i> .....	157
3.9.4.3.	<i>Efectos en la flora y fauna</i> .....	158
3.9.5.	<i>Prueba Estadística para la hipótesis planteada</i> .....	159
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	161
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	162

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
<b>AI</b>	Área de Influencia
<b>AID</b>	Área de Influencia Directa
<b>AII</b>	Área de Influencia Indirecta
<b>ANCUPA</b>	Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera
<b>As</b>	Arsénico
<b>Cd</b>	Cadmio
<b>Cm</b>	Centímetros
<b>CPV</b>	Censo de Población y Vivienda
<b>Cr</b>	Cromo
<b>Cu</b>	Cobre
<b>DNAPL</b>	Dense Non Aqueous Phase Liquids (más denso que el agua)
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>G</b>	Gramos
<b>H</b>	Horas
<b>Ha</b>	Hectáreas
<b>Hab</b>	Habitantes
<b>INAMHI</b>	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>INEC</b>	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
<b>K</b>	Conductividad Hidráulica
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>L</b>	Litro
<b>LNAPL</b>	Light Non Aqueous Phase Liquids (menos denso que el agua)
<b>M</b>	Metro
<b>Msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>Mg</b>	Miligramo
<b>Min</b>	Minuto
<b>ml</b>	Mililitro
<b>Mm</b>	Milímetro
<b>MT3DMS</b>	Modular 3-Dimensional Transport Model Multi-Species
<b>N°</b>	Número

<b>NAPL</b>	Non Aqueous Phase Liquids (Fase líquida no acuosa)
<b>P</b>	Densidad
<b><i>P(H<sub>2</sub>O)</i></b>	Densidad del Agua
<b>PEA</b>	Población Económicamente Activa
<b>PET</b>	Población en Edad de Trabajar
<b>Pb</b>	Plomo
<b>S</b>	Segundo
<b>S.A.</b>	Sociedad Anónima
<b>T</b>	Temperatura
<b>Ton</b>	Tonelada
<b>TULAS</b>	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
<b>UPA</b>	Unidad Productiva Agropecuaria
<b>USGS</b>	Servicio Geológico de USA
<b>ZCIT</b>	Zona de Convergencia Intertropical

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1-1:</b>	Propiedades representativas de los poros y relación de tamaño.....	<b>9</b>
<b>Tabla N° 1-2:</b>	Factores Ambientales límites en Procesos de Descomposición Microbiana.....	<b>23</b>
<b>Tabla N° 2-1:</b>	Criterios de calidad del suelo.....	<b>51</b>
<b>Tabla N° 2-2:</b>	Densidad del agua líquida a diferente temperatura.....	<b>59</b>
<b>Tabla N° 3-1:</b>	Coordenadas de localización de la Extractora PEXA S.A.....	<b>65</b>
<b>Tabla N° 3-2:</b>	Coordenadas de Ubicación de los equipos de la Extractora.....	<b>67</b>
<b>Tabla N° 3-3:</b>	Heliofanía, Temperatura y Humedad de la Zona de Estudio.....	<b>75</b>
<b>Tabla N° 3-4:</b>	Punto de Rocío, Tensión de vapor y Precipitación de la Zona de Estudio.....	<b>75</b>
<b>Tabla N° 3-5:</b>	Evaporación, Velocidad y Frecuencia del Viento de la Zona de Estudio.....	<b>75</b>
<b>Tabla N° 3-6:</b>	Lista de especies vegetales observadas en el AI de PEXA S.A.....	<b>85</b>
<b>Tabla N° 3-7:</b>	Especies de aves registradas en el AI de la Extractora PEXA S.A.....	<b>86</b>
<b>Tabla N° 3-8:</b>	Mamíferos registrados en el AI de la Extractora PEXA S.A.....	<b>87</b>
<b>Tabla N° 3-9:</b>	Reptiles y Anfibios registrados en el AI de la Extractora PEXA S.A.....	<b>87</b>
<b>Tabla N° 3-10:</b>	Peces y moluscos registrados en el AI de la Extractora PEXA S.A.....	<b>87</b>
<b>Tabla N° 3-11:</b>	Sexo y Edad de los habitantes de La Concordia.....	<b>88</b>
<b>Tabla N° 3-12:</b>	Población por Zonas en La Concordia.....	<b>89</b>
<b>Tabla N° 3-13:</b>	Tipos de Vivienda encontrados en La Concordia.....	<b>90</b>
<b>Tabla N° 3-14:</b>	Origen del agua utilizada en La Concordia.....	<b>91</b>
<b>Tabla N° 3-15:</b>	Procedencia de la energía eléctrica en La Concordia.....	<b>91</b>
<b>Tabla N° 3-16:</b>	Valores de Temperatura dentro de la Piscina de oxidación.....	<b>93</b>
<b>Tabla N° 3-17:</b>	Resultados de la prueba de infiltración del suelo.....	<b>95</b>
<b>Tabla N° 3-18:</b>	Conductividad Hidráulica de acuerdo al material.....	<b>105</b>
<b>Tabla N° 3-19:</b>	Valores estimados de porosidad según el material.....	<b>106</b>
<b>Tabla N° 3-20:</b>	Porosidad Total y Eficaz para el diseño de los modelos de transporte.....	<b>106</b>
<b>Tabla N° 3-21:</b>	Recarga y Evapotranspiración para el diseño del modelo.....	<b>107</b>
<b>Tabla N° 3-22:</b>	Dispersividades aplicables al modelo de transporte.....	<b>108</b>
<b>Tabla N° 3-23:</b>	Relación entre porosidad y densidad aparente del suelo.....	<b>108</b>
<b>Tabla N° 3-24:</b>	Valores dependientes del espesor estudiado dentro del área.....	<b>109</b>
<b>Tabla N° 3-25:</b>	Traslado del Cadmio a los tres meses.....	<b>112</b>
<b>Tabla N° 3-26:</b>	Traslado del Cadmio en el primer año.....	<b>113</b>
<b>Tabla N° 3-27:</b>	Traslado del Cadmio a los 5 años.....	<b>114</b>
<b>Tabla N° 3-28:</b>	Traslado del Cadmio a los 10 años.....	<b>116</b>

<b>Tabla N° 3-29:</b>	Traslado del Plomo a los tres meses.....	<b>118</b>
<b>Tabla N° 3-30:</b>	Traslado del Plomo en el primer año.....	<b>120</b>
<b>Tabla N° 3-31:</b>	Traslado del Plomo a los 5 años.....	<b>121</b>
<b>Tabla N° 3-32:</b>	Traslado del Plomo a los 10 años.....	<b>122</b>
<b>Tabla N° 3-33:</b>	Traslado del Cromo a los tres meses.....	<b>124</b>
<b>Tabla N° 3-34:</b>	Traslado del Cromo en el primer año.....	<b>125</b>
<b>Tabla N° 3-35:</b>	Traslado del Cromo a los 5 años.....	<b>126</b>
<b>Tabla N° 3-36:</b>	Traslado del Cromo a los 10 años.....	<b>127</b>
<b>Tabla N° 3-37:</b>	Traslado del Cobre a los tres meses.....	<b>129</b>
<b>Tabla N° 3-38:</b>	Traslado del Cobre en el primer año.....	<b>130</b>
<b>Tabla N° 3-39:</b>	Traslado del Cobre a los 5 años.....	<b>131</b>
<b>Tabla N° 3-40:</b>	Traslado del Cobre a los 10 años.....	<b>132</b>
<b>Tabla N° 3-41:</b>	Traslado del Arsénico a los tres meses.....	<b>135</b>
<b>Tabla N° 3-42:</b>	Traslado del Arsénico en el primer año.....	<b>136</b>
<b>Tabla N° 3-43:</b>	Traslado del Arsénico a los 5 años.....	<b>137</b>
<b>Tabla N° 3-44:</b>	Traslado del Arsénico a los 10 años.....	<b>138</b>
<b>Tabla N° 3-45:</b>	Traslado del Benceno a los 3 meses.....	<b>140</b>
<b>Tabla N° 3-46:</b>	Traslado del Benceno en el primer año.....	<b>141</b>
<b>Tabla N° 3-47:</b>	Traslado del Benceno a los 5 años.....	<b>142</b>
<b>Tabla N° 3-48:</b>	Traslado del Benceno a los 10 años.....	<b>144</b>
<b>Tabla N° 3-49:</b>	Traslado del Tolueno a los 3 meses.....	<b>145</b>
<b>Tabla N° 3-50:</b>	Traslado del Tolueno en el primer año.....	<b>146</b>
<b>Tabla N° 3-51:</b>	Traslado del Tolueno a los 5 años.....	<b>148</b>
<b>Tabla N° 3-52:</b>	Traslado del Tolueno a los 10 años.....	<b>149</b>
<b>Tabla N° 3-53:</b>	Traslado de Xilenos a los tres meses.....	<b>150</b>
<b>Tabla N° 3-54:</b>	Traslado de Xilenos al primer año.....	<b>152</b>
<b>Tabla N° 3-55:</b>	Traslado de Xilenos a los 5 años.....	<b>153</b>
<b>Tabla N° 3-56:</b>	Traslado de Xilenos a los 10 años.....	<b>154</b>
<b>Tabla N° 3-57:</b>	Distancia recorrida por cada contaminante en 10 años.....	<b>159</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1-1:</b>	Detalle del corte de los racimos de la palma africana.....	<b>15</b>
<b>Figura N° 1-2:</b>	Efectos de la velocidad del agua en la formación de una pluma.....	<b>18</b>
<b>Figura N° 1-3:</b>	Pluma para (A) Dispersividad Grande y (B) Dispersividad Pequeña.....	<b>18</b>
<b>Figura N° 1-4:</b>	Simulación del transporte a través de rocas fracturadas porosas.....	<b>19</b>
<b>Figura N° 1-5:</b>	Transporte de LNAPL a través del subsuelo en el tiempo (A), (B) y (C).....	<b>21</b>
<b>Figura N° 1-6:</b>	Modelamiento de un acuífero con MODFLOW.....	<b>29</b>
<b>Figura N° 1-7:</b>	Volumen de control bidimensional.....	<b>31</b>
<b>Figura N° 3-1:</b>	Diagrama del proceso de Extracción del aceite en la extractora PEXA S.A....	<b>66</b>
<b>Figura N° 3-2:</b>	<b>A)</b> Distribuciones temporales de Precipitación de la zona de estudio.....	<b>78</b>
<b>Figura N° 3-2:</b>	<b>B)</b> Distribuciones temporales de Temperatura de la zona de estudio.....	<b>78</b>
<b>Figura N° 3-3:</b>	Columna estratigráfica del AI de la Extractora.....	<b>81</b>
<b>Figura N° 3-4:</b>	Dimensionamiento 3D de la piscina de oxidación de PEXA S.A.....	<b>104</b>
<b>Figura N° 3-5:</b>	Diseño estratigráfico y georreferenciado del lugar con Visual MODFLOW...	<b>110</b>
<b>Figura N° 3-6:</b>	Pluma contaminante del Cadmio a los Tres Meses.....	<b>113</b>
<b>Figura N° 3-7:</b>	Pluma contaminante del Cadmio en el primer año.....	<b>114</b>
<b>Figura N° 3-8:</b>	Pluma contaminante del Cadmio a los cinco años.....	<b>115</b>
<b>Figura N° 3-9:</b>	Pluma contaminante del Cadmio a los diez años.....	<b>117</b>
<b>Figura N° 3-10:</b>	Esquema tridimensional georreferenciado del transporte del Cadmio.....	<b>118</b>
<b>Figura N° 3-11:</b>	Pluma contaminante del Plomo a los tres meses.....	<b>119</b>
<b>Figura N° 3-12:</b>	Pluma contaminante del Plomo al primer año.....	<b>120</b>
<b>Figura N° 3-13:</b>	Pluma contaminante del Plomo a los cinco años.....	<b>121</b>
<b>Figura N° 3-14:</b>	Pluma contaminante del Plomo a los diez años.....	<b>122</b>
<b>Figura N° 3-15:</b>	Esquema tridimensional georreferenciado del transporte del Plomo.....	<b>123</b>
<b>Figura N° 3-16:</b>	Pluma contaminante del Cromo a los tres meses.....	<b>125</b>
<b>Figura N° 3-17:</b>	Pluma contaminante del Cromo en el primer año.....	<b>126</b>
<b>Figura N° 3-18:</b>	Pluma contaminante del Cromo a los cinco años.....	<b>127</b>
<b>Figura N° 3-19:</b>	Pluma contaminante del Cromo a los diez años.....	<b>128</b>
<b>Figura N° 3-20:</b>	Esquema tridimensional georreferenciado del transporte del Cromo.....	<b>128</b>
<b>Figura N° 3-21:</b>	Pluma contaminante del Cobre a los tres meses.....	<b>130</b>
<b>Figura N° 3-22:</b>	Pluma contaminante del Cobre en el primer año.....	<b>131</b>
<b>Figura N° 3-23:</b>	Pluma contaminante del Cobre a los cinco años.....	<b>132</b>
<b>Figura N° 3-24:</b>	Pluma contaminante del Cobre a los diez años.....	<b>133</b>

<b>Figura N° 3-25:</b>	Esquema tridimensional georreferenciado del transporte del Cobre.....	<b>134</b>
<b>Figura N° 3-26:</b>	Pluma contaminante del Arsénico a los tres meses.....	<b>136</b>
<b>Figura N° 3-27:</b>	Pluma contaminante del Arsénico en el primer año.....	<b>137</b>
<b>Figura N° 3-28:</b>	Pluma contaminante del Arsénico a los cinco años.....	<b>138</b>
<b>Figura N° 3-29:</b>	Pluma contaminante del Arsénico a los diez años.....	<b>139</b>
<b>Figura N° 3-30:</b>	Esquema tridimensional georreferenciado del transporte del Arsénico.....	<b>140</b>
<b>Figura N° 3-31:</b>	Pluma contaminante del Benceno a los tres meses.....	<b>141</b>
<b>Figura N° 3-32:</b>	Pluma contaminante del Benceno en el primer año.....	<b>142</b>
<b>Figura N° 3-33:</b>	Pluma contaminante del Benceno a los cinco años.....	<b>143</b>
<b>Figura N° 3-34:</b>	Pluma contaminante del Benceno a los diez años.....	<b>144</b>
<b>Figura N° 3-35:</b>	Esquema tridimensional georreferenciado del transporte del Benceno.....	<b>145</b>
<b>Figura N° 3-36:</b>	Pluma contaminante del Tolueno a los tres meses.....	<b>146</b>
<b>Figura N° 3-37:</b>	Pluma contaminante del Tolueno en el primer año.....	<b>147</b>
<b>Figura N° 3-38:</b>	Pluma contaminante del Tolueno a los cinco años.....	<b>148</b>
<b>Figura N° 3-39:</b>	Pluma contaminante del Tolueno a los diez años.....	<b>149</b>
<b>Figura N° 3-40:</b>	Esquema tridimensional georreferenciado del transporte del Tolueno.....	<b>150</b>
<b>Figura N° 3-41:</b>	Pluma contaminante de Xilenos a los tres meses.....	<b>151</b>
<b>Figura N° 3-42:</b>	Pluma contaminante de Xilenos en el primer año.....	<b>152</b>
<b>Figura N° 3-43:</b>	Pluma contaminante de Xilenos a los cinco años.....	<b>154</b>
<b>Figura N° 3-44:</b>	Pluma contaminante de Xilenos a los diez años.....	<b>155</b>
<b>Figura N° 3-45:</b>	Esquema tridimensional georreferenciado del transporte de Xilenos.....	<b>155</b>

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen N° 2-1:</b>	Personal involucrado en las labores de muestreo dentro de PEXA S.A.....	<b>45</b>
<b>Imagen N° 2-2:</b>	Puntos de muestreo de agua dentro de la Laguna de Oxidación.....	<b>48</b>
<b>Imagen N° 2-3:</b>	Puntos de muestreo de sedimentos dentro de la Laguna de Oxidación.....	<b>50</b>
<b>Imagen N° 3-1:</b>	Patio de Recepción de los racimos.....	<b>67</b>
<b>Imagen N° 3-2:</b>	Esterilizadores horizontales de PEXA S.A.....	<b>68</b>
<b>Imagen N° 3-3:</b>	Cilindro empleado en el proceso de desfrutación.....	<b>69</b>
<b>Imagen N° 3-4:</b>	Equipo de digestores de la Extractora PEXA S.A.....	<b>70</b>
<b>Imagen N° 3-5:</b>	Prensa utilizada en PEXA S.A.....	<b>71</b>
<b>Imagen N° 3-6:</b>	Clarificador continuo utilizado en PEXA S.A.....	<b>72</b>
<b>Imagen N° 3-7:</b>	Centrífuga de lodos de PEXA S.A.....	<b>72</b>

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>Mapa N° 3-1:</b>	Ubicación de la Extractora de Aceite de palma PEXA S.A.....	<b>65</b>
<b>Mapa N° 3-2:</b>	Tipo de Clima en el área de la Extractora PEXA S.A.....	<b>77</b>
<b>Mapa N° 3-3:</b>	Geomorfología circundante de la Extractora PEXA S.A.....	<b>79</b>
<b>Mapa N° 3-4:</b>	Hidrografía predominante de la Extractora PEXA S.A.....	<b>82</b>
<b>Mapa N° 3-5:</b>	Uso del Suelo en las inmediaciones de la Extractora PEXA S.A.....	<b>83</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico N° 3-1:</b>	Lámina acumulada vs Tiempo acumulado de la prueba de infiltración.....	<b>96</b>
<b>Gráfico N° 3-2:</b>	Velocidad de infiltración vs Tiempo Acumulado.....	<b>97</b>
<b>Gráfico N° 3-3:</b>	Concentración de Cadmio vs distancia recorrida a los 3 Meses.....	<b>112</b>
<b>Gráfico N° 3-4:</b>	Concentración de Cadmio vs distancia recorrida en el primer año.....	<b>114</b>
<b>Gráfico N° 3-5:</b>	Concentración de Cadmio vs distancia recorrida a los 5 años.....	<b>115</b>
<b>Gráfico N° 3-6:</b>	Concentración de Cadmio vs distancia recorrida a los 10 años.....	<b>116</b>
<b>Gráfico N° 3-7:</b>	Distancia máxima del Cadmio a los 10 años.....	<b>117</b>
<b>Gráfico N° 3-8:</b>	Concentración del Plomo vs distancia recorrida a los 3 meses.....	<b>119</b>
<b>Gráfico N° 3-9:</b>	Concentración del Plomo vs distancia recorrida en el primer año.....	<b>120</b>
<b>Gráfico N° 3-10:</b>	Concentración del Plomo vs distancia recorrida a los 5 años.....	<b>121</b>
<b>Gráfica N° 3-11:</b>	Concentración del Plomo vs distancia recorrida a los 10 años.....	<b>122</b>
<b>Gráfico N° 3-12:</b>	Distancia máxima del Plomo a los 10 años.....	<b>123</b>
<b>Gráfico N° 3-13:</b>	Concentración del Cromo vs distancia recorrida a los 3 meses.....	<b>124</b>
<b>Gráfico N° 3-14:</b>	Concentración del Cromo vs distancia recorrida en el primer año.....	<b>125</b>
<b>Gráfico N° 3-15:</b>	Concentración del Cromo vs distancia recorrida a los 5 años.....	<b>126</b>
<b>Gráfico N° 3-16:</b>	Concentración del Cromo vs distancia recorrida a los 10 años.....	<b>127</b>
<b>Gráfico N° 3-17:</b>	Distancia máxima del Cromo a los 10 años.....	<b>128</b>
<b>Gráfico N° 3-18:</b>	Concentración del Cobre vs distancia recorrida a los 3 meses.....	<b>130</b>
<b>Gráfico N° 3-19:</b>	Concentración del Cobre vs distancia recorrida en el primer año.....	<b>131</b>
<b>Gráfico N° 3-20:</b>	Concentración del Cobre vs distancia recorrida a los 5 años.....	<b>132</b>
<b>Gráfico N° 3-21:</b>	Concentración del Cobre vs distancia recorrida a los 10 años.....	<b>133</b>
<b>Gráfico N° 3-22:</b>	Distancia máxima del Cobre a los 10 años.....	<b>134</b>
<b>Gráfico N° 3-23:</b>	Concentración del Arsénico vs distancia recorrida a los 3 meses.....	<b>135</b>
<b>Gráfico N° 3-24:</b>	Concentración del Arsénico vs distancia recorrida en el primer año.....	<b>136</b>
<b>Gráfico N° 3-25:</b>	Concentración del Arsénico vs distancia recorrida a los 5 años.....	<b>137</b>
<b>Gráfico N° 3-26:</b>	Concentración del Arsénico vs distancia recorrida a los 10 años.....	<b>138</b>
<b>Gráfico N° 3-27:</b>	Distancia máxima del Arsénico a los 10 años.....	<b>139</b>
<b>Gráfico N° 3-28:</b>	Concentración del Benceno vs distancia recorrida a los 3 meses.....	<b>141</b>
<b>Gráfico N° 3-29:</b>	Concentración del Benceno vs distancia recorrida en el primer año.....	<b>142</b>
<b>Gráfico N° 3-30:</b>	Concentración del Benceno vs distancia recorrida a los 5 años.....	<b>143</b>
<b>Gráfico N° 3-31:</b>	Concentración del Benceno vs distancia recorrida a los 10 años.....	<b>144</b>
<b>Gráfico N° 3-32:</b>	Distancia máxima del Benceno a los 10 años.....	<b>145</b>

<b>Gráfico N° 3-33:</b>	Concentración del Tolueno vs distancia recorrida a los 3 meses.....	<b>146</b>
<b>Gráfico N° 3-34:</b>	Concentración del Tolueno vs distancia recorrida en el primer año.....	<b>147</b>
<b>Gráfico N° 3-35:</b>	Concentración del Tolueno vs distancia recorrida a los 5 años.....	<b>148</b>
<b>Gráfico N° 3-36:</b>	Concentración del Tolueno vs distancia recorrida a los 10 años.....	<b>149</b>
<b>Gráfico N° 3-37:</b>	Distancia máxima del Tolueno a los 10 años.....	<b>150</b>
<b>Gráfico N° 3-38:</b>	Concentración de Xilenos vs distancia recorrida a los 3 meses.....	<b>151</b>
<b>Gráfico N° 3-39:</b>	Concentración de Xilenos vs distancia recorrida en el primer año.....	<b>152</b>
<b>Gráfico N° 3-40:</b>	Concentración del Xilenos vs distancia recorrida a los 5 años.....	<b>153</b>
<b>Gráfico N° 3-41:</b>	Concentración de Xilenos vs distancia recorrida a los 10 años.....	<b>154</b>
<b>Gráfico N° 3-42:</b>	Distancia máxima de los Xilenos a los 10 años.....	<b>155</b>

## RESUMEN

Se realizó un estudio sobre la contaminación producida por las actividades realizadas en la “Extractora de Aceite de Palma PEXA”, para estudiar las condiciones ambientales actuales y el alcance máximo de varios contaminantes descargados en las piscinas de oxidación de la extractora. Se hizo un levantamiento de información inicial de la situación de la extractora y de sus componentes bióticos, abióticos y socioeconómicos, así como la toma de coordenadas de ubicación, conocido su estado se procedió con el muestreo de las aguas residuales y los sedimentos de la piscina de oxidación; se realizaron análisis de velocidad de infiltración y conductividad hidráulica del suelo y temperatura junto con el análisis de las propiedades organolépticas del agua residual en el campo. Los ensayos se complementaron con los análisis de las muestras en el laboratorio y la documentación investigada y obtenida con el fin de obtener todos los parámetros necesarios que se utilizaron luego en el desarrollo de un modelo de simulación por computadora debidamente georreferenciado y con el que se reprodujeron las condiciones del subsuelo de la extractora, el transporte y las variaciones de concentración en la matriz sólida que sufren cada uno de los contaminantes estudiados en su recorrido por los diferentes estratos y agregados del suelo, todo esto fue analizado en un lapso de tiempo justificable. Los resultados obtenidos determinan que los suelos analizados son de tipo areno arcillosos, las cotas máximas y mínimas en las que se halla son de 202 y 198msnm respectivamente, la velocidad de infiltración es de  $1.734 \times 10^{-5} \text{m/s}$ , con una conductividad hidráulica de  $5.934 \times 10^{-6} \text{m/s}$  y la distancia máxima que alcanzan las plumas contaminantes es de 242.3m luego de 10 años de simulación. Los estudios realizados demuestran que el recorrido de los contaminantes en el suelo no altera el recurso hídrico del área, se sugiere realizar esta clase de estudios en proyectos similares.

**Palabras clave:** <MEDIO AMBIENTE> <VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN>  
<CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA> <CONTAMINANTE> <PISCINA DE OXIDACIÓN>  
<VISUAL MODFLOW> <PALMA AFRICANA> <PLUMA DE CONTAMINACIÓN>  
<QUININDÉ> <PROVINCIA DE ESMERALDAS>

## ABSTRACT

A study on pollution produced from activities performed in the “Palm Oil Extraction PEXA” was carried out to know the current environmental conditions and maximum range of several pollutants discharged into oxidation pools. Through an analysis of the initial information of the extractor and its biotic, abiotic and socioeconomic components, as well as location of the coordinates, a sampling of black water and sediments in the oxidation pool was done. Infiltration rate analysis and soil hydraulic conductivity and temperature together with the analysis of the organoleptic properties of the black water in the field. The essays are complemented by the analysis of samples in the laboratory and the documentation investigated and obtained in order to get all necessary parameters to develop a simulation model done in a computer properly georeferenced and with these the surface conditions of the extractor were reproduced, the transport in the solid matrix suffering in each of the pollutants studied in their journey through the different layers and soil aggregates, all this was analyzed over a justifiable time. The obtained results determined that the analyzed soils are sandy clay type. The maximum and minimum heights are 202 and 198asl respectively, the infiltration rate is  $1.734 \times 10^{-5} \text{m/s}$  with a hydraulic conductivity of  $5.934 \times 10^{-6} \text{m/s}$  and the maximum distance that the pollutant feathers reach is 242.3m after 10 years of simulation. Studies performed show the pollutant agents trail does not after the water in the area. It is recommended to do this kind of studies in a similar projects.

**Key Words:** <ENVIROMENT> <INFILTRATION RATE> <HYDRAULIC CONDUCTIVITY>  
<POLLUTANT> <OXIDATION POOL> <VISUAL MODFLOW> <AFRICAM PALM>  
<POLLUTANT FEATHERS> <QUININDE> <ESMERALDAS PROVINCE>

## INTRODUCCIÓN

Una de las características de la contaminación ambiental tiene que ver con su presencia de forma natural ya que siempre ha existido y al margen de las actividades que realiza el ser humano para su desarrollo. La naturaleza tiene la capacidad de eliminar los contaminantes ambientales, reduciendo sus efectos negativos, aun así, la contaminación ambiental de origen antropogénico aumenta y con ello las necesidades del hombre por mitigarla ya que la capacidad de depuración que tiene la naturaleza no es suficiente.

Fueron en los años setenta del siglo XX, con las primeras conferencias, reuniones y encuentros sobre el ambiente que se empezó a hablar del desarrollo sostenible y se fortaleció la idea de la utilización racional de los recursos naturales. No puede existir progreso sólido sin que exista preocupación por la conservación ambiental. Por ello es necesario el uso de análisis, variables e indicadores ambientales dentro de la concepción global del término contaminación.

Los recursos naturales de nuestro país, son afectados por la intervención humana, deteriorando su disponibilidad. La sobreexplotación de acuíferos, el vertimiento de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, los cambios en el uso del suelo tales como la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, el incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, y más.

Las alteraciones de la disponibilidad hídrica más el alto índice de crecimiento poblacional del sector, generan conflictos los cuales se incrementan y tienden a agravarse; si no se toman las medidas necesarias, como el aprovechamiento del suelo y el agua a través de mecanismos de estudios, normativas y leyes que permitan su protección y su distribución equitativamente. Por tanto es necesario conocer cómo es que se genera el agua subterránea en el subsuelo; por qué es tan importante como reserva de agua dulce; si existen sustancias que la contaminen y de qué forma estas se transportan en el medio subterráneo.

Nuestro país mediante su ley de Gestión Ambiental emitida el 30 de Julio de 1999, señala los límites permisibles y establece los principios y directrices de la política ambiental en la cual se determinan las obligaciones, responsabilidades y niveles de participación de los sectores públicos y privados en la gestión ambiental por tanto un estudio in situ respaldado en modelos analíticos, estadísticos y matemáticos constituye una herramienta válida para determinar conformidades y no conformidades por

parte de entidades reguladoras y así dar cumplimiento a la ley, así como para identificar, evaluar, mitigar y evitar los efectos físicos, biológicos y sociales ocasionados por actividades y proyectos desarrollados dentro del territorio nacional y que repercutan dentro y fuera del Ecuador.

Mediante ésta investigación se establecerán parámetros cuantificables así como las actividades que se llevan a cabo en la Extractora PEXA S.A. ubicada en la Parroquia La Unión, Cantón Quinindé dedicada a la extracción de aceite de palma, las industrias extractoras de aceite de palma son las más importantes de este sector de la costa ecuatoriana debido a la presencia en gran cantidad de cultivos de palma aceitera que es la materia prima básica para el procesamiento en la industria extractora. La descripción del medio biótico, abiótico, socioeconómico y cultural circundante a la extractora permitirá estudiar el estado actual del área de influencia con la presencia de la Extractora PEXA S.A. como parte de su entorno con todos sus procesos productivos y los cambios que su presencia genera en la zona.

Además, se debe realizar una interpretación del análisis de las muestras que fueron recolectadas en el lugar de estudio. Esta interpretación se fundamentará en modelos matemáticos conceptuales de dispersión de contaminantes filtrados en medios acuosos como resultado del proceso de producción del aceite de palma. Las actividades desarrolladas en la Extractora PEXA S.A. han de señalar los focos de filtración de sustancias usadas en la producción del aceite de palma y la forma en la que esta contaminación se transporta a través del subsuelo y el ecosistema agrícola-industrial propio del sector.

## **ANTECEDENTES**

Para entender el alcance que una sustancia tiene en su transporte a través del perfil del suelo es necesario comprender las fases del ciclo hidrológico que es la principal vía de circulación de todas estas sustancias.

La precipitación que cae en tierra es el origen de prácticamente toda el agua dulce. Parte de esta precipitación, después de mojar las plantas y el suelo, corre por la superficie terrestre a los cursos de agua constituyendo el escurrimiento superficial y otra parte se infiltra en el suelo. Cierta cantidad de la precipitación es retenida en la zona de las raíces de las plantas y otra parte vuelve a la atmósfera por la evapotranspiración. El excedente percola de la zona de raíces hacia abajo entre otras por la fuerza de gravedad, y continúa el viaje hasta ingresar a un reservorio de agua subterránea. El agua subterránea fluye a través de los materiales porosos saturados del subsuelo hacia niveles más bajos que los de infiltración y puede volver a surgir naturalmente como manantiales y circular en forma de caudal como

base de los ríos. La mayoría de estos devuelve el agua a los mares o la lleva a cuencas cerradas donde se puede evaporar o infiltrar nuevamente.

La contaminación causada por sistemas de tratamiento que cuentan con piscinas de oxidación se ha venido estudiando desde hace varios años, en la década de 1970 junto con el desarrollo de los sistemas de depuración de aguas residuales contemporáneos también se comenzó a ensayar métodos para determinar el correcto desempeño de los tratamientos, su interacción y las afectaciones hacia el medio físico circundante, referencias e historiales dan cuenta de pautas de evaluación que permiten determinar la presencia y el destino de contaminantes generados por las industrias y poblaciones. Las primeras lagunas de estabilización fueron en realidad embalses construidos como sistemas reguladores de agua para riego. Se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada en riegos directos, sin tratamiento previo. Dentro de este contexto se observó que la calidad del agua mejoraba sustancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales.

Se realizó una evaluación sobre la calidad del agua y el suelo en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán, a través de los análisis realizados de 2002 a 2008 por diferentes laboratorios. Los parámetros considerados fueron los coliformes fecales, la demanda bioquímica de oxígeno, el fósforo y el nitrógeno total, grasas y aceites, los sólidos suspendidos totales y sedimentables, el pH, la temperatura y la materia flotante, la densidad y la conductividad hidráulica. Dadas las condiciones geológicas, las principales fuentes de contaminación del agua subterránea son: los bancos de materiales pétreos que afloran al manto freático, el fecalismo abierto en el medio rural, la infiltración de aguas urbanas en los pozos, el tratamiento insuficiente de las aguas residuales industriales, la disposición inadecuada de los residuos sólidos, y la aplicación de productos agrícolas en el medio rural.

La situación anteriormente descrita urge de un tratamiento de aguas residuales urbanas, agrícolas e industriales antes que se devuelvan a los cuerpos de agua y manto freático. Con tal fin la ciudad de Mérida dispone de lagunas de oxidación que fueron construidas hace veinte años. Las lagunas de oxidación o de estabilización son excavaciones en el suelo donde el agua residual es almacenada para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana y otros procesos simbióticos entre microorganismos. (FEBLES & HOOGESTEIJN. 2010, p. 135)

La contaminación industrial del agua y el suelo en lo referente a la actividad de extracción de aceite, ha generado en los últimos años una tendiente degradación. Aunque, las actividades de extracción han

permitido el desarrollo económico de la zona de Quinindé y La concordia, la generación de empleo; y de forma reciente las actividades de extracción de aceite intentan una integración equilibrada con el medio ambiente. En la actualidad según el Censo Nacional Agropecuario del 2012, se cultiva 5424 hectáreas de palma dentro de la provincia de Esmeraldas de las 240 mil hectáreas, que se cultivan en todo el territorio nacional. Convirtiendo al Ecuador en uno de los países productores de este fruto de mayor crecimiento. (SINAGAP. 2014)

“PEXA S.A.” se encarga que los frutos de la palma africana sean transformados en aceite rojo de palma que a su vez pasa a ser la materia prima que necesitan otras industrias para la manufactura de nuevos productos, en el proceso de extracción del aceite se generan residuos y desechos que al someterse al tratamiento de estabilización también deterioran el medio circundante en el que son tratados, por eso las medidas correctivas que se toman para actuar en torno al desarrollo económico, social y la conservación natural, deben ser satisfechas por el tratamiento de los efluentes generados dentro de la extractora. Las entrevistas mantenidas con el personal dentro de la extractora han determinado que el sector y los terrenos en donde actualmente opera PEXA S.A. estaban dedicados al pastoreo, por ser estos potreros utilizados como alimento para ganado y que ya habían sido alterados por la presencia del hombre desde hace varios años antes de la apertura de la extractora.

## **JUSTIFICACIÓN**

La naturaleza tiene una alta capacidad para absorber y amortiguar la emisión de sustancias peligrosas y contaminantes mitigando sus efectos nocivos; en los últimos años esta capacidad se ha reducido por la cantidad de recursos que el hombre requiere para su desarrollo causando un manejo irracional de los recursos productivos y ciertas tecnologías que han dejado al ambiente en un estado de desequilibrio y deterioro. En los últimos años la transformación de los ecosistemas que produce el desarrollo de las industrias y los monocultivos que nutren su actividad productora provocan la disminución de su biodiversidad, el impacto tiene que ver con las políticas con las que se maneja cada empresa, el componente ambiental debe ser prioritario en las actividades que se desarrollan, involucrando a la sociedad y los organismos seccionales y regionales de gobierno.

La industria de Palma utiliza materias primas, energía, capital y trabajo humano para generar bienes y ganancias, sus procesos productivos arrojan al ambiente desechos o subproductos que deben ser reintegrados a su ecosistema. La Extractora PEXA S.A. busca crear conciencia que sus actividades contribuyen en la generación de contaminación ambiental y la búsqueda de soluciones es evidente.

Pero ¿De dónde parten las soluciones que optimizarán el desarrollo de las operaciones de extracción de aceite y depuración de las descargas en la empresa PEXA S.A?

Por estas razones y respaldado en los Art.1 y 2 de la Ley de Gestión Ambiental del 10 de septiembre del 2004 que menciona “La gestión ambiental como ley establece principios y directrices de política ambiental, sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respeto a las culturas y prácticas tradicionales en todos los niveles de participación de los sectores público y privado”. El presente estudio pretende arrojar datos reales sobre el estado actual de la Extractora, mediante el levantamiento de una línea base, la descripción de la infiltración de los contaminantes, la determinación de la pluma contaminante y la conductividad hidráulica de los efluentes tratados dentro de la piscina de oxidación de la extractora “PEXA” tal como lo estipula el Art. 21, de la mencionada Ley (LEY DE GESTION AMBIENTAL. 2004); utilizando para ello tecnologías apropiadas tomando en cuenta factores ambientales, económicos y sociales; para obtener así un resultado que pueda ser sometido a la evaluación de autoridades interesadas y normativas vigentes. Cumpliendo con lo que se establece en la Constitución Ecuatoriana, en la que se reconoce el derecho de la población al buen vivir, Sumak Kawsay. (CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR. 2008)

El desarrollo del proyecto cuenta con el respaldo y las facilidades de Gestión, logística y económicas por parte de la Gerencia de la extractora “PEXA S.A.” así como de todos sus empleados y personal comprometido con el mejoramiento de la Industria.

De acuerdo a la misión y visión de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), la Facultad de Ciencias (FC) y su Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental (IBTA), sus estudiantes, están formados para aplicar conocimientos en el mejoramiento del ambiente, en este caso estudiando la contaminación producida por herbicidas, pesticidas, insecticidas y residuos industriales; interpretando los ensayos sobre concentración de diversos compuestos generados, describiendo su trayectoria en la naturaleza y proponiendo soluciones a las posibles alteraciones ambientales que pueden ocurrir. Por tanto el estudiante es un elemento importante de apoyo para elaborar el estudio de Contaminación recreando las condiciones de operación que se experimentan dentro de la Extractora de aceite de palma PEXA S.A. de la Parroquia La Unión Cantón Quinindé y de esta manera reportar resultados fiables e informes precisos sobre el estado ambiental dentro del Área de Influencia determinada.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Estudiar la contaminación causada por el sistema de tratamiento de las descargas líquidas de la extractora de aceite de palma “PEXA S.A.” ubicada en el cantón Quinindé de la Provincia de Esmeraldas.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el levantamiento de una línea base para la Empresa Extractora PEXA S.A
- Establecer parámetros de evaluación relativos a las condiciones hidrogeológicas y geodinámicas del área de la Extractora PEXA S.A.
- Determinar la infiltración de los contaminantes y la conductividad hidráulica del entorno de las piscinas de oxidación de la Extractora PEXA S.A.
- Describir el patrón de migración y comportamiento de los contaminantes dentro del medio físico circundante.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1. Marco Filosófico

Dentro de los términos que generalmente se utilizan, para definir e identificar los componentes que se encuentra bajo la superficie tenemos:

**Hidrogeología:** Estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres dentro de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre.

**Permeabilidad:** Es la capacidad que tiene un acuífero o superficie para transmitir un fluido, en este caso agua. Un material será más permeable cuando sea poroso y estos poros sean de gran tamaño y estén conectados.

**Ley de Darcy:** En 1856 al ingeniero Henry Darcy se le encargó realizar un estudio de la red de agua en la ciudad francesa de Dijon y de diseñar filtros de arena para su purificación, su interés por los factores que influían en el paso del agua por un material arenoso hizo que presentara un estudio anexo a sus resultados, este anexo ha servido de base para todos los estudios de flujo en aguas subterráneas. Darcy desarrolló un equipo para determinar los valores del flujo de agua que circula a través de una sección de arena y así poder expresar este fenómeno mediante una fórmula:

$$Q = KA * \frac{h_1 - h_2}{L}$$

**En Donde:**

**K.-** Conductividad hidráulica [L/T]

**$h_1 - h_2$ .-** Cambio en el potencial hidráulico entre dos puntos [L]

**L.-** Distancia entre los dos puntos [L]

A.- Área transversal [L<sup>2</sup>]

Las unidades de Q son [L<sup>3</sup>/T], tomando esto en consideración otra forma de expresar la ley de Darcy es:

$$q = -K * \left(\frac{dh}{dl}\right)$$

$q = Q/\text{sección}$  (caudal que circula por m<sup>2</sup> de sección)

$dh/dl$  = gradiente hidráulico expresado en incrementos infinitesimales

El signo (-) se debe a que es una magnitud vectorial, cuya dirección es hacia valores decrecientes es decir que  $dh$  será negativo, convirtiendo a  $q$  en positivo. Si se asume que la velocidad es igual al caudal en cada sección se obtendría una velocidad falsa puesto que el agua no circula por toda la sección sino por una parte, esta velocidad falsa es llamada: *velocidad de Darcy*.

La parte de la sección total por la que puede circular el agua es la porosidad efectiva, si una arena tiene una porosidad del 10% (0.10), el agua estaría circulando por el 10% de la sección total del tubo. Y para que el mismo caudal circule por una sección 10 veces menor, su velocidad tendría que ser 10 veces mayor. Por tanto se cumple que:

$$V_s = \frac{q}{n_e} = - \frac{K}{n_e} * \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

**En Donde:**

$q$ .- Velocidad de Darcy [L/T]

$K$ .- Conductividad Hidráulica [L/T]

$n_e$ .- Porosidad efectiva [L<sup>3</sup>/L<sup>3</sup>]

$\Delta h/\Delta l$ .- Gradiente hidráulico [L/L]

Donde  $V_s$  es la velocidad lineal media, esta fórmula refleja correctamente la velocidad real de las partículas en una sección cualquiera de un medio poroso. En la práctica se debe tomar en cuenta muchos otros factores que gobiernan el flujo en medios porosos, pero todos los cálculos parten de la concepción de la ley de Darcy. (SAN ROMÁN. 2007)

**Conductividad hidráulica:** Se define como la velocidad de infiltración o permeabilidad que se presenta en un medio poroso saturado, la cual se expresa en forma cuantitativa.

La conductividad hidráulica es una de las características del suelo más difíciles de evaluar en campo, debido a las variaciones que sufre este, tanto horizontal como verticalmente. Este valor es de amplio uso en técnicas del riego y modelos de flujo, ya que condiciona el diseño de canales de riego la estimación de pérdidas de agua por infiltración y otros procesos.

**Poros:** Se refiere a los espacios abiertos en los diferentes tipos de rocas:

- **En las Rocas Duras:** Los espacios corresponden a fracturas, planos de estratificación y otras cavidades. Estos espacios no tienen una distribución uniforme y se consideran como fenómenos localizados. Este tipo de porosidad se denomina “porosidad secundaria”.
- **En las Rocas Blandas:** Los poros están presentes entre los granos individuales y los minerales. La distribución de estos poros es mucho más homogénea que en las rocas consolidadas, se la denomina como porosidad primaria o porosidad intergranular. (SALAZAR. 2011)

**Tabla N° 1-1:** Propiedades representativas de los poros y relación de tamaño

TIPO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN	RELACIÓN CON EL AGUA
<b>MACROPOROS</b>	1mm a 10mm	Fisuras, túneles y espacios entre granos	Transmiten agua libremente si el suelo está saturado.
<b>POROS DE TRANSMISIÓN</b>	30µm a < 1mm	Poros entre agregados, en las interfaces de pequeñas partículas y suelos arenosos	Transmiten agua en la infiltración y luego son drenados.
<b>POROS DE ALMACENAMIENTO</b>	200nm a < 30µm	Poros entre los agregados.	El agua retenida está disponible para las plantas en un nivel más bajo.
<b>POROS COMPLEJOS DE ARCILLAS</b>	1nm a < 200nm	Poros de arcillas complejas.	Los poros cambian de tamaño a medida que el suelo cambia de contenido de agua.

**Realizado por:** Javier Basantes.

**Fuente:** SALAZAR. 2011.

**Acuífero:** Es un volumen subterráneo de roca y arena que contiene agua. El agua almacenada es una parte importante del ciclo hidrológico, aproximadamente el 30 por ciento del caudal de superficie proviene de fuentes de agua subterránea.

Los acuíferos se clasifican en:

- **Acuíferos libres:** No tienen una capa de materiales impermeables encima de ellos, son superficies libres, el agua está en contacto con el aire y la presión atmosférica, por lo que su presión es en realidad igual a la presión atmosférica.
- **Acuíferos confinados:** O acuíferos cautivos, son aquellos en donde el cuerpo de agua que se acumula en la roca permeable y está encerrado entre dos capas impermeables.
- **Acuíferos semiconfinados:** Son un caso particular de los acuíferos cautivos, en el que las rocas que lo limitan no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua.

**Características de los Acuíferos:** La propiedad de los acuíferos de contener agua, está gobernada por varios factores: Porosidad, Permeabilidad, Transmisibilidad Específica y Coeficiente de Almacenamiento.

**Porosidad (n):** La porosidad de un material representa un porcentaje que relaciona el volumen que ocupan los poros en un volumen unitario de roca; es decir, si la porosidad es del 50 % significa que la mitad de la roca está constituida por poros la otra mitad por partículas sólidas.

La porosidad no define a un acuífero, es preciso que los poros estén interconectados; pero esto depende del grado de comparación del material, forma y arreglo de las partículas y su gradación. El valor de “n”, puede variar entre 0 y 50%, dependiendo de estos factores.

**Permeabilidad (K):** Se considera sinónimo de la conductividad hidráulica. Es la propiedad de las rocas de permitir o no el flujo del agua; porque un estrato geológico siendo poroso puede contener agua, pero si los espacios vacíos no se interconectan, el agua no circula, esta libertad de movimiento depende del tamaño y forma de las partículas, gradación del material y viscosidad del agua. La permeabilidad tiene dimensiones de velocidad m/día. El coeficiente de permeabilidad de un material, se define como el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, a través de una sección de acuífero de área unitaria (1m<sup>2</sup>).

**Transmisibilidad o Transmisividad (T):** Es una medida de la capacidad de un acuífero para conducir agua o transmitir agua, definiéndose como el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, a través de una franja vertical de acuífero de ancho unitario, extendida en todo el espesor saturado, cuando el gradiente hidráulico es unitario y a una temperatura de 15°C. (ORDOÑEZ. 2012, p. 23)

La transmisividad es el producto de la conductividad hidráulica y el espesor saturado del acuífero.

$$T = b * K$$

**En Donde:**

*T*.- Transmisividad ( $L^2/T$ )

*b*.- Espesor saturado del acuífero (*L*)

*K*.- Conductividad hidráulica ( $L/T$ )

Para un acuífero compuesto de muchos estratos la transmisividad total es la suma de las transmisividades de cada estrato:

$$T = \Sigma Ti$$

**En Donde:**

*n*.- Número total de estratos

*Ti*.- Transmisividad del estrato *i*.

El concepto de transmisividad de un acuífero asume que el flujo a través de él es horizontal, es válido en la mayoría de casos pero no en todos.

**Infiltración Natural:** La infiltración se produce en el terreno por la acción conjunta de las fuerzas de gravedad y atracción molecular, y pueden actuar en un mismo sentido o de forma opuesta, según las circunstancias. La magnitud de la infiltración y por lo tanto de la alimentación de las napas subterráneas, es influenciada por la Precipitaciones y las condiciones del terreno.

**Infiltración Proveniente de Regadíos:** Por efecto del regadío aplicado a los terrenos de cultivo, se produce en ellos una infiltración de una parte del agua que pasa a constituir una nueva fuente de alimentación para las napas subterráneas. Del total del agua que se aplica en riegos en una zona, una parte es transpirada por la planta y retenida en su tejido durante su crecimiento, más la evaporada en la superficie del terreno, otra parte escurre superficialmente mientras que el saldo resultante se infiltra hacia las capas del subsuelo constituyendo la recarga de las napas. (ORDOÑEZ. 2012, p. 25)

**Influencia de factores Meteorológicos sobre las Napas Subterráneas:** Las napas subterráneas son influenciadas por tres factores como son la Temperatura, la Presión Atmosférica y las Mareas.

**La temperatura** actúa sobre los acuíferos libres a través de la variación en el contenido de agua del suelo no saturado situado en la superficie. Las variaciones de la temperatura al interior del suelo, en general no se detectan más allá de 1m de profundidad bajo la superficie del terreno.

Las variaciones de la **presión atmosférica** repercuten sobre los niveles de agua que se encuentran en pozos y en napas artesianas, un aumento de la presión atmosférica transmitido a través de la capa impermeable que limita la napa (y hacia los materiales permeables incluida el agua que constituyen el acuífero) hace bajar el nivel de agua de un pozo en un valor menor que el aumento de presión. El efecto de los cambios de presión no se hace sentir sobre napas libres debido a que ellas en todos sus puntos se encuentran sometidas a la presión atmosférica.

**Las mareas** ejercen influencia sobre los niveles piezométricos de napas artesianas ubicadas próximas a la costa. (ORDOÑEZ. 2012, p. 30)

**Contaminante:** Es Cualquier elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos, o combinación de ellos; que causa un efecto adverso al aire, agua, suelo, recursos naturales, flora, fauna, seres humanos, a su interrelación o al ambiente en general. (TULAS. 2003)

## **1.2. La Palma Africana en el Ecuador**

La palma africana fue introducida en el Ecuador en el año 1953, en La Concordia provincia de Esmeraldas gracias a Roscoe Scott y al principio había pocas las plantaciones. A partir de 1967 se incrementa su producción a más de 1000 hectáreas.

Proceden del África media Occidental, la gente que allí vivía ya extraían su aceite desde hace 5000 años. Se adapta a las regiones calurosas tropicales, estas condiciones ayudan a su desarrollo óptimo y producción requerida. La palma es perenne, alcanzando más de 50 años, pero bajo cultivo solo se le permite llegar hasta los 25 o 30 años y alturas entre 12 y 20 m de altura, de lo contrario se dificulta su cosecha por la altura del tallo. En estado natural llega a superar los 40 metros. (MUÑOZ. 2002)

Al día de hoy la palma africana es de los cultivos más importantes para el Ecuador por sus diferentes usos sobretodo como biocombustible. Su producción se focaliza en provincias como: Santo Domingo de los Tsachilas, Pichincha, Esmeraldas, Orellana, Sucumbíos y Los Ríos.

Sufren enfermedades causadas por plantas y organismos parásitos y por marchites debida a las condiciones climáticas adversas y varios parásitos; también como su hábitat no es el originario de la planta esta padece enfermedades que solo se presentan en regiones tropicales de Latinoamérica; por ejemplo: *Bursaphelenchus coocophilus* que es un nematodo y provoca la enfermedad conocida como el Anillo Rojo, algunos protozoarios flagelados causan una marchites inmediata; y la Pudrición del Cogollo, una enfermedad muy común que actualmente sufren las palmas y debida la presencia del hongo *Phytophthora palmivora*. Los frutos carnosos de la palma forman un racimo, la pulpa y su semilla son comestibles. Los racimos ya cultivados se transportan hacia las plantas de extracción, allí luego de algunos tratamientos físico-químicos se consigue separar su aceite. Sus usos van desde la elaboración de mantecas para freír, aliños y demás productos comestibles hasta crear jabones y derivados similares al aceite de cacao, ciertos subproductos de la extracción se utilizan como abono para los sembríos de la palma. Se producen además aceite de almendra de palma, tortas y residuos sólidos de la extracción de la grasa y del aceite de nuez.

La demanda por aceite de palma se ha incrementado debido a su uso como biocombustible, el rendimiento más alto de biodiesel proviene de la Palma africana. Se obtienen 3900 L/ha, lo cual se compara con 590 L/ha de canola, 490 L/ha de soya, 490 L/ha de girasol, 357 L/ha de linaza, 357 L/ha de maíz y 155 L/ha de algodón. (LAMAS. 2010)

Ecuador tiene zonas con luminosidad y contenido de agua suficiente que favorecen el cultivo de la palma africana. Sus productos se exportan principalmente a los mercados de Reino Unido, Chile, Venezuela, Perú, Panamá, México y Argentina. (SALAZAR. 2011)

Según datos de ANCUPA al 2009 existen alrededor de 23000ha de palma africana sembradas. La inversión aproximada de la siembra e industrialización de la palma es de 1380230 000 dólares y genera 168 667 empleos. (MUÑOZ. 2002)

### **1.3. Cultivo y Producción de la Palma Africana**

La semilla de la palma requiere humedad, oxígeno y temperatura especiales para su germinación. En condiciones naturales, es difícil que germinen. Las palmas óptimas para la producción son aquellas que tienen de 30-36 cm de altura y hojas desarrolladas con 5-8 cm de diámetro el cuello. Antes del trasplantarlas se riegan con abundante agua para darles mayor consistencia y asegurar su reserva de agua. La siembra se realiza a alejada de zonas de drenaje y terrenos muy inclinados eliminando

cualquier desecho vegetal de cultivos anteriores. Un nivel freático superficial limita el desarrollo de sus raíces y la nutrición. Las buenas características físicas, textura y estructura del suelo son preferibles a su nivel de fertilidad, pues éste puede corregirse con fertilización mineral. (INTRIAGO. 2011)

Se puede plantar una cobertura vegetal la cual permite la protección del suelo y favorece la retención de humedad, pero al mismo tiempo presta un servicio al cultivo de palma. Las coberturas de leguminosas son adecuadas por su facilidad para hacer disponible el nitrógeno mediante la interacción de microorganismos del suelo. Los beneficios de la cobertura son varios; aumento de la materia orgánica, disminución del control de malezas, suministro de nitrógeno al cultivo, aumento en la retención de humedad y reducción de enfermedades y protección del suelo contra la erosión.

Las coberturas más empleadas son el Kudzú (*Pueraria phaseoloides*), el maní forrajero (*Arachis pintoil.*) y el pegapega (*Desmodium ovalifolium.*), éstas semillas pueden ser inoculadas con bacterias nitrificantes, incrementando la fijación del nitrógeno atmosférico, debido a la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* y reducir los costos de fertilización.

### **1.3.1. Fertilización de los Cultivos**

La fertilización asegura las necesidades nutricionales de la palma de aceite para garantizar un adecuado crecimiento y desarrollo. La frecuencia de aplicación varía con la edad de la planta; la palma de aceite requiere cantidades relativamente importantes de nitrógeno, fósforo y potasio. En menores cantidades calcio, azufre y boro y algunos micro elementos. Es mejor realizar análisis del suelo y foliares para intervenir ante la deficiencia o exceso de nutrientes. (INTRIAGO. 2011)

Se puede aplicar raquis como abono orgánico en la corona de cada palma. El raquis incorpora nutrientes al suelo, Contiene microorganismos que mejoran sus características, disminuyendo la erosión y conservando la humedad, también impide el desarrollo de malezas y el ingreso de plagas que puedan atacar a la planta.

### **1.3.2. Cosecha de los Cultivos**

La época de la cosecha es determinada por el estado de maduración del fruto que toma un color pardo-rojizo en la punta y rojo-anaranjado en la base. Los ciclos de cosecha son cada ocho o diez días. Se

cortan los racimos, se recolectan y transportan a pie o con mulas hasta los vehículos que los llevan a la planta extractora de aceite.

**Figura N° 1-1:** Detalle del corte de los racimos de la palma africana



Fuente: SOLANO, G. 2011.

Para cortar los racimos se usan chuzas o lanzas también es muy usado el cuchillo malayo. Estas herramientas cosechan racimos de alturas de hasta 3.4m. Su empleo requiere de mucho cuidado para no sufrir ningún accidente. La cosecha y poda requiere la capacitación del personal por el alto costo de la producción de los cultivos. (INTRIAGO. 2011)

#### **1.4. Plantas extractoras de Aceite de Palma en el Ecuador**

En el Ecuador conforme aumentaba el cultivo de palma africana en la zona y la demanda por el aceite, se vio la necesidad de instalar las Extractoras de aceite las cuales debían operar con criterios de calidad, respeto al ambiente y al mismo tiempo, generar una fuente de empleo para los moradores de las localidades aledañas, la obtención de réditos económicos y el desarrollo Industrial del sector.

Las industrias, dedicadas a la extracción de aceite rojo de palma, proveen al mercado nacional e internacional para su refinamiento y consumo, cumplimiento en mayor o menor medida con los principios y criterios de sostenibilidad; buscando a través de la calidad de la extracción el desarrollo de sus trabajadores, socios estratégicos y del sector en el que operan. Las extractoras se enfocan en los siguientes aspectos:

- Eficiente producción, productividad e inversión industrial utilizando tecnología adecuada.
- Optimización de infraestructura y producción.
- Eficiencia Administrativa y optimización financiera

- Cumplir con programas de desarrollo social y medio ambiente.
- Eficiencia en labores de gestión comercial y del personal trabajador. (INTRIAGO. 2011)

## **1.5. Caracterización de Plumas Contaminantes**

Internacionalmente hoy en día se tiende a usar tecnologías propias de la geología en el estudio de lugares alterados; constituyendo una herramienta eficaz para monitorear y describir la contaminación. Los estudios apuntan a que las plumas contaminantes sufren variaciones en el tiempo, como consecuencia de las múltiples variables del medio y sus procesos. El resultado de estos modelos geofísicos es satisfactoriamente compatible con los análisis químicos de laboratorio complementarios.

Se ha determinado que existe una elevada conductividad del agua subterránea en estudios geoquímicos para áreas contaminadas bajo el modelamiento de algunas plumas de LNAPLs. Las alteraciones en las mediciones pueden ser causadas por (LÓPEZ. 2005, p. 15):

- A un nivel capilar por el recorrido y avance del agua.
- Variaciones de porosidad cercanos a la zona vadosa porque las sustancias llenan los poros.
- Procesos de reacción que ocurren entre los productos de la degradación microbiana y la fase sólida del acuífero.
- Por la distribución, saturación y espesor de los residuos que ocurren sobre el nivel freático.
- La degradación microbiana causa alteraciones de los fluidos y su química en los espacios porosos.
- Dirección y cantidad de sustancia de la pluma en su viaje por el acuífero superior.

### **1.5.1. Transporte y destino de los contaminantes en el subsuelo**

La principal causa de migración en superficie es el arrastre de partículas de suelo contaminado por la escorrentía superficial, y esta se debe condiciones climáticas que provocan fuertes lluvias e inundaciones. (ASTM. 1995)

Las sustancias que contaminan aguas subterráneas se mueven inicialmente de forma horizontal y en función del gradiente hidráulico. Luego su concentración disminuye ayudado primordialmente por procesos de filtración, dispersión, sorción. Algunos químicos como el tiempo de salida para la sustancia y el recorrido de su viaje y la degradación de origen microbiano. (CHRISTENSEN & ELTON. 1989, p. 579)

La dispersión de tipo hidrodinámica influye en todas las sustancias, a su vez y dependiendo de las diferentes velocidades los procesos químicos, la degradación y la sorción ocasionan efectos sobre las sustancias contaminantes en el medio subterráneo.

### 1.5.2. Procesos físicos que controlan el transporte de contaminantes en el subsuelo

**Advección:** Obedece al transporte de pequeños sólidos disueltos que viajan en promedio con la velocidad del viaje del agua en el medio subterráneo. Son la conductividad hidráulica, la formación y el gradiente hidráulico en el sentido y dirección del flujo y la porosidad de dicha formación de las que depende el promedio de la velocidad lineal. Para el cálculo de la advección se aplica la Ley de Darcy:

$$V_s = \frac{K}{n_e} * \left( \frac{dh}{dl} \right)$$

**En Donde:**

**K.-** Conductividad hidráulica (L/T)

**ne.-** Es la porosidad efectiva;

**dh/dl.-** Es el gradiente hidráulico.

Y el flujo de masa debido a la advección es igual a:

$$Fx = V_s * n_e * C$$

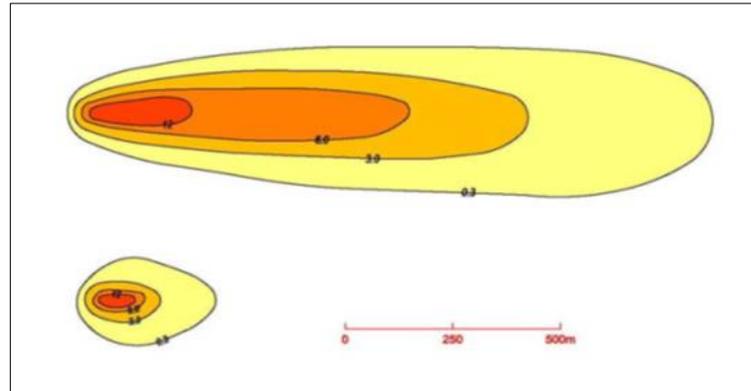
**En Donde:**

**Vs.-** Velocidad lineal promedio (L/T)

**C.-** Concentración del contaminante.

**Dispersión:** Provoca que las sustancias dentro del acuífero disminuyan su concentración e incrementen su longitud de flujo. Las sustancias que se movilizan por una fase porosa lo hacen siguiendo caminos velocidades y longitudes diferentes. Los que se mueven a lo largo de flujos de velocidades superiores o recorridos cortos, concluyen su viaje en un punto específico antes que las sustancias que recorren a un viaje largo y accidentado con velocidades pequeñas en su viaje. En flujos rápidos en el tiempo es como una pluma incrementará su tamaño y el coeficiente de dispersión cambia dependiendo de la velocidad. Es constante con bajas velocidades, sin embargo éste se incrementa de forma lineal con el agua subterránea y su velocidad. (CHRISTENSEN & ELTON. 1989, p. 580)

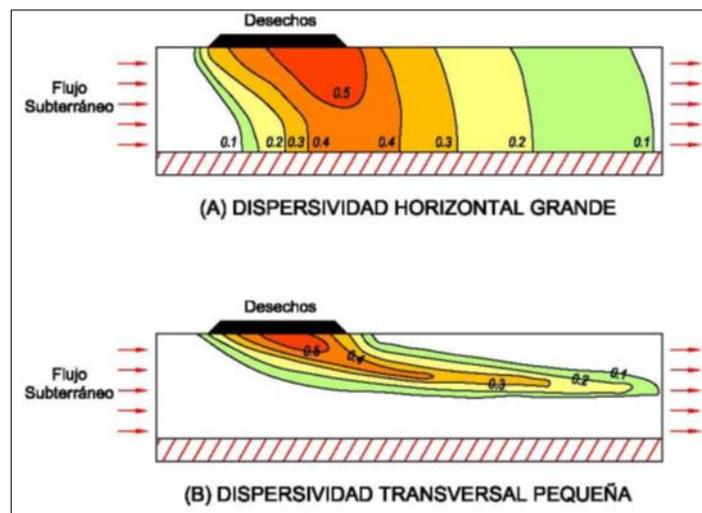
**Figura N° 1-2:** Efectos de la velocidad del agua en la formación de una pluma.



Fuente: LÓPEZ. 2005.

En medios porosos, los iones del contaminante deben seguir caminos más largos al fluir alrededor de los agregados minerales por lo que la difusión es menos rápida que en el agua. A parte la difusión se presenta solo por los espacios vacíos que se encuentran interconectados y que se conoce como la porosidad efectiva, sino ésta se inhibe. Para tomar en cuenta este comportamiento en los estudios se usa un coeficiente de difusión efectiva. El proceso es importante en formaciones estratigráficas en las que la conductividad hidráulica es menor a  $10^{-9}$  m/s, ya que la porosidad y la tortuosidad influyen en el avance del recorrido del agua subterránea dentro de la fase porosa. Lugares con conductividades mayores, las aguas obtendrán una mayor libertad de movimiento en los poros conectados, haciendo que el proceso de dispersión sea el sobresaliente y principal proceso de transporte. (LÓPEZ. 2005, p. 19)

**Figura N° 1-3:** Pluma para (A) Dispersividad Grande y (B) Dispersividad Pequeña



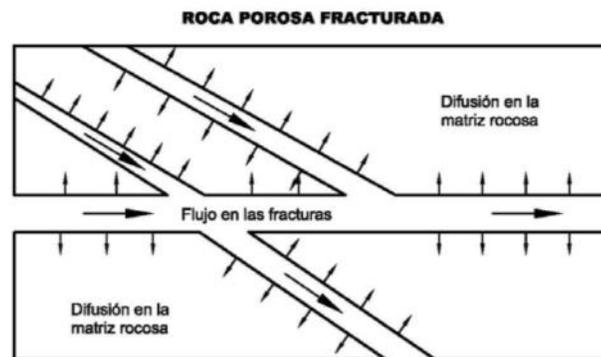
Fuente: LÓPEZ. 2005.

**Transporte Difusivo en Materiales con Baja Permeabilidad:** Para los agregados que tienen poca conductividad hidráulica como las arcillas y ciertas rocas con conductividad menor al  $10^{-9}$ m/s, el transporte por difusión de los contaminantes es predominante al transporte por advección. En este proceso las sustancias se difundirán en los acuitardos y capas de arcilla que poseen conductividades bajas, y que luego contaminarán los acuíferos.

**Procesos de Retardo de los Contaminantes:** Algunas reacciones químicas que sufren los contaminantes en su viaje al acuífero afectan el avance del contaminante y la velocidad del movimiento disminuye con relación a la velocidad promedio del flujo. Tales reacciones químicas son: la partición dentro de la materia orgánica y al interior de los solventes de tipo orgánico, el intercambio iónico, la adsorción y precipitación.

**Transporte de sustancias en los Medios Fracturados:** Cuando las rocas se fracturan se crea en ellas una porosidad de tipo primaria y secundaria y sabiendo que la porosidad primaria es aquel espacio entre poros de una roca fracturada, y mientras que la secundaria forma el espacio resultante del rompimiento de las rocas; en estos medios las sustancias los recorren únicamente por advección a través de las rocas fracturadas. (LÓPEZ. 2005, p. 22)

**Figura N° 1-4:** Simulación del transporte a través de rocas fracturadas porosas



Fuente: LÓPEZ. 2005.

**Transporte de Partículas en los Medios Porosos:** Existen partículas que logran ser retiradas de la solución por percolación, filtración en superficie, y otros procesos físico-químicos volviendo imprescindible saber el transporte de estas partículas en las que se incluyen: virus, bacterias, fibras de asbestos, arcillas, materia orgánica y de tipo inorgánica.

Cuando las partículas tienden a ser más grandes que aquellos poros con un diámetro mayor, no podrán ingresar en la fase porosa y terminarán filtradas hacia la superficie. Y cuando las partículas tienden a ser más pequeñas que aquellos poros que tienen el mayor diámetro, aunque más grandes que aquellos más pequeños, entonces viajarán por los canales porosos más grandes hasta que encuentren un canal con un diámetro más pequeño y sean removidas por percolación (paso lento de fluidos a través de los materiales porosos). Por último si las partículas son más pequeñas que el menor diámetro de los poros, éstas viajarán distancias muy considerables por la fase porosa. La velocidad a la que viajen y recorran el medio, dependerá de los procesos físicos-químicos que experimenta ese lugar. (LÓPEZ. 2005, p. 25)

### **Procesos Físicos del Transporte de Contaminantes de Fase Líquida No Acuosa (Non-Aqueous Phase Liquids, NAPLs)**

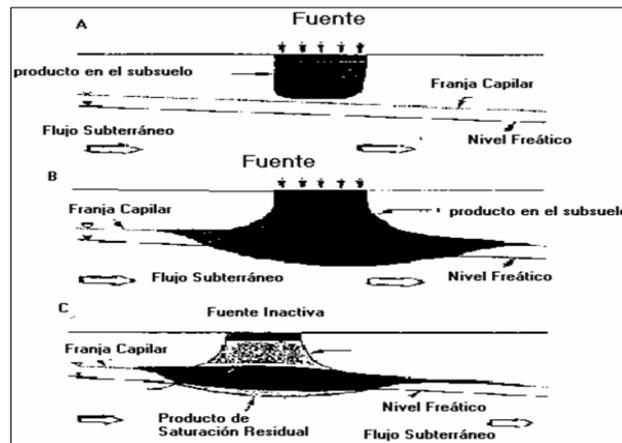
Los compuestos líquidos insolubles en agua denominados NAPL, que son los que no se disuelven en el agua existen a manera de fase fluida separada. Estos se dividen en: los menos (LNAPL) y los más densos que el agua (DNAPL).

Los LNAPLs son los hidrocarburos combustibles, entre ellos, el kerosene, aceite de calefacción, la gasolina común y de aviones. Los DNAPL como por ejemplo como los 1,1,1-tricloroetanos, clorofenoles, tetracloruro de carbono, clorobencenos, bifenilos policlorinados (PCBs), tetracloroetileno y demás hidrocarburos clorinados. (CHRISTENSEN & ELTON. 1989, p. 581)

**Transporte de los LNAPL:** Cuando una pequeña cantidad de LNAPLs ingresa en la fase de no saturación, los LNAPLs tienden a fluir por la región central de los poros no saturados hasta conseguir la saturación. En la zona no saturada donde los poros entre las partículas están llenos de aire y otros de agua (Vadosa) se creará un sistema de LNAPLs, agua y aire y; cuando el agua se infiltre disolverá las partes de los LNAPLs (como el Benceno, Xilenos y Tolueno) transportándolos grandes distancias y al nivel freático. Varias especies halladas en los LNAPLs son del tipo volátiles y se distribuirán en la fase aire suelo, para ser luego transportados a otros lugares del acuífero por difusión, aumentando el escenario contaminante en otras áreas.

Si el suelo en la superficie es poco permeable los vapores y gases no circularán hacia otros medios y las concentraciones que adquiere la sustancia en el suelo, van a tender hacia el equilibrio. Sin embargo cuando la superficie es permeable, los vapores viajarán hacia la atmósfera. (CHRISTENSEN & ELTON. 1989, p. 582)

**Figura N° 1-5:** Transporte de LNAPL a través del subsuelo en el tiempo (A), (B) y (C).



Fuente: CHRISTENSEN & ELTON. 1989.

### 1.5.3. Procesos Químicos que Gobiernan el Transporte en el Subsuelo

Las reacciones químicas pueden transformar un compuesto en otro, su transporte en el subsuelo está controlado por reacciones complejas entre procesos químicos, físicos y de carácter biológico que cambian su estado y originan otro, todas ellas por la fusión entre sustancias inorgánicas y orgánicas.

**Sorción:** Constituye el proceso de naturaleza química más importante que influye en el recorrido de los contaminantes en el ambiente subsuperficial. La sorción de una sustancia orgánica no polar se considera un proceso de equilibrio y a su vez de partición entre el medio poroso y la fase acuosa.

En una premisa de equilibrio partición lineal, la sorción está representada como un factor "R" de retardación o frenado. Este factor de frenado obedece al coeficiente de partición, la porosidad y densidad de los materiales del acuífero, creándose un enlace tipo hidrofóbico entre la sustancia contaminante y el componente orgánico propio del medio en el que se sitúa el acuífero, esto constituye el mecanismo esencial de la sorción mecánica. Entonces, la sorción de un contaminante se estudia a partir del contenido de carbono de tipo orgánico existente en los constituyentes del acuífero o también por la constante de proporcionalidad específica para cada sustancia que se pretenda estudiar, siempre y cuando el contenido orgánico es tan alto como para ser analizado. (LÓPEZ. 2005, p. 31)

**Hidrólisis:** es una reacción de degradación de tipo abiótica presente en el agua subterránea para ciertos compuestos, constituye una reacción directa entre las moléculas de agua y los compuestos disueltos,

como cuando la hidrólisis de sustancias cloradas resistentes a la biodegradación, tienden a formar alquenos y alcoholes. (LÓPEZ. 2005, p. 32)

**Volatilización y Disolución:** Aquellos compuestos presentes en fase acuosa y de vapor tienden a ser más sensibles a la degradación. El contenido de volatilización de una sustancia se ha de determinar por:

- Presión de vapor de los compuestos contaminantes.
- El área óptima de contacto entre la zona que no se ha visto no afectada por la naturaleza del medio, el área contaminada y la sustancia contaminante.
- La velocidad con la cual el contaminante se propaga en el subsuelo. (LÓPEZ. 2005, p. 33)

#### **1.5.4. Procesos Biológicos que gobiernan el Transporte de Contaminantes**

En un principio a los acuíferos se los consideraban básicamente ambientes sin vida porque la cantidad de microorganismos disminuye con la profundidad del suelo y se asumía que la mayoría de microorganismos se quedaban adheridos a las partículas de las paredes del suelo, igualmente, averiguando el tiempo necesario para que el agua de la superficie ingrese verticalmente en el medio subterráneo, los microorganismos al descender consumían los nutrientes disponibles, los agotaban y luego morían. La presencia de microorganismos en el agua subterránea se pensaba como algo poco probable, por la protección que había de los microorganismos de la zona radicular del suelo, que transforman los contaminantes en productos inofensivos. (LÓPEZ. 2005, p. 34)

#### **Evidencia de Microorganismos en el Subsuelo**

Investigaciones microbiológicas han detectado a varias profundidades la presencia de microorganismos en acuíferos ya sean contaminados o no y con una composición geológica que difería una de otra. Estos microorganismos están inicialmente adheridos a la superficie sólida. Si ingresa materia orgánica en descomposición a un acuífero con presencia de oxígeno el metabolismo microbiano ha de degradar el sustrato contaminado así, microorganismos endémicos utilizarán la sustancia contaminante como su electrón donador para hacer posible la respiración microbiana heterotrófica.

Si el oxígeno es el limitante, la respiración aeróbica será poca y otros microorganismos serán los que se activen y continúen degradando de los contaminantes presentes. En procesos anóxicos existirán

bacterias anaeróbicas que usen los compuestos orgánicos de algunos aniones inorgánicos como su alternativa de electrones aceptores. (LÓPEZ. 2005, p. 35)

Por ejemplo los nitratos en aguas subterráneas no disminuirán hasta que se usa el oxígeno por completo, si el nitrato actúa como limitante, el sulfato lo compensa para convertirse en el electrón aceptor, si es que esto ocurre en el agua subterránea será el sulfuro de hidrógeno la sustancia detectada como un producto final del metabolismo microbiano. Bajo condiciones reductoras de medianas a altas en la zona, el anhídrido carbónico se convertirá en electrón aceptor y formando metano.

### 1.5.5. Factores ambientales que inciden en la Biodegradación

Pueden limitar o disminuir la tasa de crecimiento microbiano y el uso del sustrato las siguientes causas: limitaciones de agua, salinidad, temperaturas extremas, presión hidrostática u osmótica, pH, radiación, concentración del contaminante y posibles existencias de metales tóxicos y otros materiales tóxicos. Por lo general más de un factor ambiental interactúa para limitar los procesos de descomposición microbiana.

**Tabla N° 1-2:** Factores Ambientales límites en Procesos de Descomposición Microbiana

Factor Ambiental	Niveles Óptimos
<b>Agua disponible en el suelo (H<sub>2</sub>O)</b>	25-85% de capacidad de almacenamiento de agua
<b>Oxígeno (O<sub>2</sub>)</b>	Metabolismo Anaeróbico: concentraciones de oxígeno menos de 1% por volumen. Metabolismo Aeróbico con concentraciones mayores a 0.2 mg/L de oxígeno disuelto y espacios porosos ocupados por aire de 10% en volumen.
<b>Potencial Redox</b>	Microorganismos Anaeróbicos menos de 50mV. Aeróbicos más de 50mV.
<b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>	Valores de pH de entre 5.5 – 8.5
<b>Nutrientes</b>	Suficiente Fósforo (P), Nitrógeno (N <sub>2</sub> ) y otros nutrientes que no limite el crecimiento microbiano.
<b>Temperatura (T)</b>	15°C - 45°C (Mesófilos)

Realizado por: Javier Basantes.

Fuente: LÓPEZ. 2005.

### Factores Fisiológicos que afectan la Biodegradación

Hay factores de tipo fisiológico y origen microbiano que pueden influenciar la degradación de las sustancias contaminantes de tipo orgánico. Estos contaminantes aportan carbón y energía contenida en

cantidades necesarias para el crecimiento de microorganismos heterótrofos. Si existe gran concentración de substrato esto podría disminuir su metabolismo por la alta toxicidad de éste para los microorganismos. Cuando la concentración en cambio es muy pequeña el metabolismo microbiano es inhibido haciendo del substrato un tipo poco adecuado para su desarrollo. (LÓPEZ. 2005, p. 37)

### 1.5.6. Características y Propiedades de los Contaminantes

Las propiedades importantes de los contaminantes se resumen dentro de este apartado:

**Peso Molecular:** Si el peso molecular de la sustancia es alto por tanto será menos soluble en agua, y se expresa en g/mol (gramos por cada mol). El peso molecular del compuesto influye también en su densidad.

**Solubilidad en Agua:** Se refiere a la máxima medida de concentración en mg/L (miligramos por cada litro) de una sustancia para disolverse en agua pura dentro de condiciones específicas de temperatura.

**Concentración en el Suelo:** es la medida de máxima concentración (en mg/Kg) de una sustancia química dentro de la fase sólida como consecuencia de su transporte en el medio o su incorporación en él por otros medios.

**Polaridad:** En un compuesto se determina esta propiedad cuando el mismo presenta una carga negativa en un extremo y una parte positiva en el otro, por lo que se la asocia con la carga que posee un compuesto, generándose un dipolo. Aquellas sustancias polares tienen afinidad con líquidos, y los no polares son hidrofóbicos por lo que no se unen con las moléculas de agua o polares, siendo más probable que se adhieran en la fase orgánica del suelo o se volatilicen.

**Densidad Específica:** La densidad tiene efectos en la capacidad que un compuesto tiene para flotar en el agua. Se trata de una relación que involucra a los valores registrados de densidad tanto del agua como de la sustancia estudiada. Sus valores, (kg/m<sup>3</sup>) se reportan generalmente en kilogramos de sustancia en seco por volumen de agua o disolvente.

**Coefficiente de Partición Octanol-agua (Kow):** Es una relación de la acumulación de la sustancia contaminante en el agua. El Kow determina el rango de hidrofobicidad de las sustancias orgánicas. Entre más hidrofóbico es el contaminante más se adhiere en el suelo y su solubilidad disminuye en

agua. Las sustancias más polares tendrán un bajo Kow. Es la relación entre la concentración de una sustancia que se disuelve en dos-fases en relación de equilibrio. Por ejemplo si una sustancia se agrega a una solución de agua octanol, se debe alcanzar el equilibrio. Estas fases se distribuyen estableciendo una relación de las concentraciones tanto en la fase de agua como en la de octanol.

**Presión de Vapor:** Representa la predisposición de un compuesto a la evaporación refiriéndose a la solubilidad orgánica dentro de un gas. Se refiere a la presión de un gas en relación a un sólido o líquido dentro de una temperatura dada y siempre en equilibrio. Por lo tanto será más probable que el compuesto se volatilice fuera de la solución en altas presiones de vapor.

**Constante de Henry (Ley de Henry):** Característica de las sustancias que tiene que ver con su presencia en las fases líquida y gaseosa. Sus valores detallan los movimientos de un compuesto en su recorrido entre el agua hacia el aire y viceversa. Cuando existen grandes valores de esta constante en una sustancia se dice que su tendencia será hacia la fase gaseosa, pero si no se quedará en fase acuosa.

**Biodegradabilidad:** Se refiere a la degradación en el ambiente y más específicamente al ambiente subterráneo de las fases sólida, acuosa, y gaseosa; Su importancia radica por ser el medio físico el destino en el que terminan los contaminantes. Las sustancias orgánicas experimentan procesos biodegradadores de tipo aerobio y anaerobio realizados por microorganismos. (CHRISTENSEN & ELTON. 1989, p. 586)

## 1.6. Tratamiento de las Aguas Residuales Generadas

**Generación y Depuración:** Las aguas residuales generadas en el proceso de extracción del aceite de palma, provienen de la esterilización y de la clarificación principalmente. El efluente producto de la extracción de aceite de palma africana, es un líquido aceitoso con materia orgánica y partículas sólidas que provienen de los racimos de los frutos de la palma, estos son efluentes degradables que arrastran en su viaje pequeñas cantidades de sustancias químicas e hidrocarburos provenientes del proceso de cultivo, cosecha y extracción del aceite en procesos físicos de esterilización, son compuestos aceitosos sólidos sedimentados y cortezas en suspensión que reciben un tratamiento en lagunas de oxidación antes de su descarga líquida.

Estos desechos son canalizados por tubería, para su tratamiento, se dispondrá de un proceso primario de separación física de grasas, complementando con un tratamiento secundario microbiológico,

(lagunas de oxidación) que cumple con el proceso de degradación por digestión anaeróbica, y complementada con la siembra de pasto de raíces profundas alrededor de las lagunas para estabilizar y formar paredes compactas e impermeables que retengan el efluente y la materia orgánica. (SOLANO. 2011)

**Piscinas de Oxidación:** Llamadas también lagunas de estabilización Una laguna de estabilización es una estructura simple para embalsar aguas residuales con el objeto de mejorar sus características sanitarias. Las lagunas de estabilización se construyen de poca profundidad (2 a 4 m) y con períodos de retención de los efluentes de varios días.

Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización se realizarán en las mismas, en forma espontánea, un proceso de autodepuración o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico. Este proceso se lleva a cabo en casi todas las aguas estancadas con gran contenido de materia orgánica biodegradable. La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, humedad, precipitación, etc. (OPS. 2005)

Las lagunas oxidativas permanecen en contacto con el entorno, transformándose la materia orgánica en otros tipos de nutrientes que pasan a formar parte de una comunidad diversa de plantas y ecosistema bacteriano acuático. Luego de este proceso, el agua superficial de las lagunas queda libre entre un 70 y un 85% de demanda química y biológica de oxígeno para la posterior liberación de estas aguas hacia la naturaleza y sin peligro para el medio ambiente y sus especies. (NEIRAL. 2010)

### **1.7. Diagnóstico Ambiental (Línea Base)**

La línea base es el conjunto de indicadores que sirven de referencia cualitativa y cuantitativa para poder verificar, analizar, monitorear, dar seguimiento y evaluar los resultados, impactos y cambios a nivel, geográfico, socioeconómico y ambiental, relacionados con las actividades de un plan, un proyecto o un estudio. Estos indicadores se definen desde el inicio del proyecto, y son útiles para:

- Monitorear, y evaluar los resultados, impactos y cambios relacionados con las actividades de un plan un estudio o un proyecto.
- Hacer ajustes de las diferentes estrategias, metodologías y tecnologías implementadas en el campo.

- Obtener información para justificar un proyecto o estudio, y difundir a diferentes niveles la importancia de estas actividades.
- Demostrar con datos e información cualitativa y cuantitativa a los involucrados del proyecto, la importancia, beneficios y ventajas que ofrecen las actividades realizadas.
- Promover una integración e interacción para los otros actores e interesados en el proyecto o programa. (JIMÉNEZ. 2006, p. 15)

### **Indicadores ambientales**

Los indicadores de línea base se pueden determinar a partir de la caracterización y el diagnóstico y con base en la experiencia y conocimientos de expertos. Los indicadores pueden ser cuantitativos y cualitativos y se relacionan con los aspectos de interés del estudio a realizarse.

Se debe considerar la línea base adecuada para servir como referencia para el análisis de los fenómenos que se pretenden estudiar. “Esto ayuda a precisar y ajustar el contenido de la línea base a los alcances y objetivos del proceso de estudio e investigación”. (JIMÉNEZ. 2006, p. 15)

### **Medios Evaluados**

**Medio físico:** Aquí se caracterizan los aspectos físicos del área de influencia del proyecto, se recopila y procesa la información técnica del proyecto e información general existente sobre el área dentro de los siguientes aspectos:

- Climatología
- Geología y Geomorfología
- Hidrología, calidad del agua.

**Medio Biótico:** Caracterización y descripción de los aspectos principales propios del área de influencia que corresponden a:

- Flora
- Fauna

**Medio Socio-Económico y Cultural:** El estudio de los aspectos económicos y culturales buscará ofrecer una visión sobre la situación de la población localizada en el entorno del área de influencia, de acuerdo a información obtenida. La investigación sobre este componente antropogénico abordará aspectos demográficos, infraestructura, condiciones de vida, salud y actividades productivas de las poblaciones locales.

### **1.8. Procesos y Modelos de Migración de Contaminantes**

Cuando un contaminante se descarga desde su origen hacia el medio, atraviesa procesos que derivan en su distribución en las fases del ambiente, al igual que su transformación, movilización y destino hasta lugares que pueden estar poco o muy distantes del foco de emisión. (ASTM. 1995)

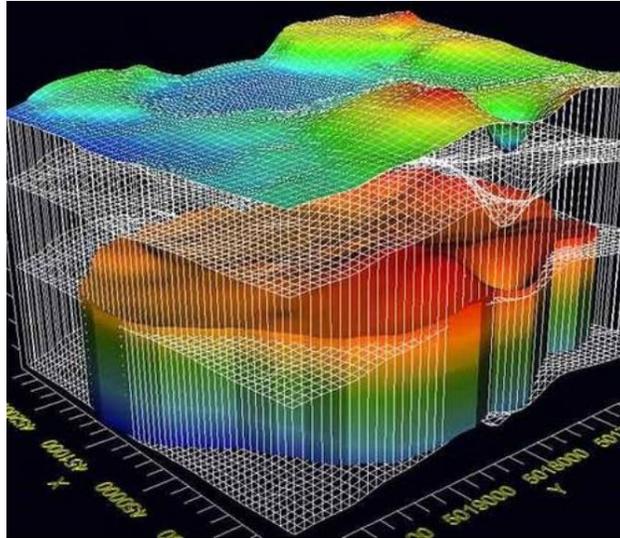
En los años recientes se han investigado y desarrollado modelos matemáticos con la capacidad de emular, diseñar y predecir su comportamiento, la contaminación de aguas subterráneas y el recorrido del flujo. Se han constituido en herramientas necesarias para simular el comportamiento de un sistema a sus estímulos exteriores. La predicción del comportamiento del agua subterránea es de gran ayuda para resolver problemas referentes a la calidad de las aguas procedentes de las actividades comerciales, industriales, domésticas, etc.

Existen modelos que incluyen dentro de la simulación algunos procesos de transformación. Los modelos más utilizados se basan en simular el traslado de contaminantes en un medio físico a partir de una fuente de emisión. Según esta fuente, el recorrido, y los procesos que ocurren en el flujo, se podrá simular la dispersión de las sustancias. Aplicar estas técnicas en la predicción del recorrido de las sustancias de una fase líquida o sólida, a través de la matriz sólida, sin olvidar sus reacciones y otros fenómenos fisicoquímicos que se presentan en el sistema suelo-agua.

La aplicación de estos códigos para estudiar un lugar en el que se ha producido la migración de compuestos tóxicos resulta una labor extensa, como cuando se quiere estudiar el comportamiento de formaciones geológicas de baja permeabilidad para frenar la migración de agentes contaminantes, o estudiar la naturaleza y funciones de zonas arcillosas que forman paredes de retardo y la descripción de la migración de sustancias contaminantes a lo largo de los estratos del medio sólido en sectores aledaños a instalaciones industriales y plantas de procesos extractivos. (GARCÍA & GARCÍA. 2004)

### 1.8.1. Modelización del Transporte y Difusión en aguas subterráneas

**Figura N° 1-6:** Modelamiento de un acuífero con MODFLOW



Fuente: CRUCES DE ABIA. 2007

Un modelo es una réplica de un objeto o de un sistema real. Los modelos de aguas subterráneas recurren a pautas que tratan de reflejar la conducta real de un sistema a través de ecuaciones matemáticas. El modelo de aguas subterráneas debe simular las condiciones reales de las aguas, tal como se dan en el subsuelo. Esta simulación es normalmente a escala macroscópica sobre una zona extensa y se realiza a través de una representación gráfica que permite la visualización de las condiciones reales; se trata de un complejo modelo digital tridimensional cuya solución debe ser hallada solamente gracias a la aplicación de métodos numéricos. Un modelo numérico de aguas subterráneas consigue determinar las condiciones de carga hidráulica a lo largo de un régimen de flujo (regido por la ecuación de Laplace) por medio de técnicas numéricas. (LAGREGA et al. 1998, p. 199)

Tras la selección del modelo a emplear se deben cifrar los datos concretos de las condiciones del subsuelo y sus características físicas como la conductividad hidráulica, la porosidad, la posición de los estratos representados por las coordenadas x, y, z, el espesor y extensión del sistema. Los modelos de aguas subterráneas constituyen una oportunidad de obtener datos, estimar parámetros y formular modelos predictivos que combinan las técnicas de la informática científica, la matemática, la geología, la hidrología de aguas subterráneas la geoquímica y la ingeniería. Para modelizar el recorrido que sufren los contaminantes se deben atravesar una serie de pasos estructurados y ordenados en etapas, generalmente interactivas:

**Definición de los objetivos que requiere la modelización:** Sin importar los diversos propósitos, de un estudio la aplicación más requerida es la de estimar las concentraciones de ciertas sustancias en diferentes clases medios cada uno con distintivas características y puntos de exposición en un tiempo dado. (ASTM. 1995)

**Concreción requerida del modelo conceptual:** Quiere decir que se debe interpretar las características y funciones del sistema físico que se pretende reproducir, transformando sus características en un compendio de variables que pueden luego ser evaluadas de manera cuantitativa. (ASTM. 1995)

**Selección de los algoritmos de modelización:** Consiste en elegir los medios informáticos, personal, formato de datos, que han de ajustarse de manera óptima al requerimiento del análisis, tomando en consideración los propósitos iniciales que fundamentaron su estudio y simulación, los datos disponibles y recursos económicos. Se deben documentar los requisitos técnicos y bibliográficos utilizados. (ASTM. 1995)

**Construcción del modelo:** Aquí se ha de clasificar todos los datos de entrada como las propiedades físicas y químicas del sector y las propias de los contaminantes que se pretender estudiar y que se van a utilizar adaptándolos a los requerimientos de las herramientas informáticas seleccionadas. (ASTM. 1995)

**Análisis de sensibilidad:** Aquí se cuantifica los posibles efectos que se obtienen en los números de entrada para los parámetros estudiados y los resultados que éstos proporcionan al modelo simulado. Su análisis ayuda a identificar los sectores más sensibles del modelo y su importancia dentro de la simulación requerida para que el estudio sea lo más representativo posible. (ASTM. 1995)

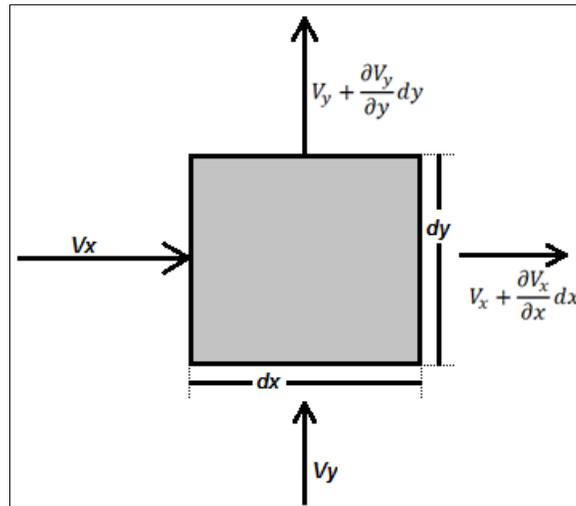
**Aplicación del modelo:** Si se han concluido las etapas anteriores, el modelo responderá a las condiciones del medio por lo que se encuentra preparado para aplicarlo dentro de los límites que vienen definidos desde los objetivos del estudio. Finalmente es aconsejable documentar el proceso de modelización en los estudios, para así justificar el por qué se escogió tal modelo, todos sus datos de entrada, el alcance óptimo y máximo del modelo y los resultados obtenidos. (ASTM. 1995)

### **1.8.2. Ecuaciones de flujo y traslado**

El modelo aplicado en la determinación del traslado de contaminantes a través del subsuelo requiere una serie de ecuaciones que gobiernan el desarrollo de su estructura y el reporte de resultados, esta

serie de ecuaciones se denominan “código” y son los parámetros que un software de modelamiento integra en la elaboración de un modelo sea de hechos puntuales o que se desarrollan en el transcurso de un lapso de tiempo, como es el caso del modelamiento de plumas de contaminación. (LAGREGA et al. 1998, p. 200)

**Figura N° 1-7:** Volumen de control bidimensional



Fuente: LAGREGA et al. 1998.

La figura N° 1.7 muestra un volumen de control bidimensional. Los flujos de Darcy hacia el interior del volumen de control en las direcciones  $x$  e  $y$  son respectivamente  $V_x$  y  $V_y$ , y las dimensiones del elemento son  $dx$  y  $dy$ . Suponiendo que no se den cambios en el volumen de control la ecuación de continuidad indica que:

$$q_{in} = q_{out} \quad (1)$$

**En donde:**

$q_{in}$  = flujo de penetración en el volumen de control

$q_{out}$  = flujo de salida del volumen de control

El flujo volumétrico equivale al flujo o velocidad de Darcy por el área de flujo:

$$q_{in} = V_{in}A \quad (2)$$

**En donde:**

$q_{in}$  = flujo volumétrico de penetración en el volumen de control ( $\text{cm}^3/\text{seg}$ )

$V_{in}$  = flujo de penetración en el volumen de control (cm/seg)

$A$  = área de flujo (cm<sup>2</sup>)

Por tanto el flujo de penetración en el volumen de control se expresa:

$$q_{in} = v_x dy + v_y dx \quad (3)$$

Mientras que el flujo de salida del volumen de control se expresa:

$$q_{out} = \left( v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} dx \right) dy + \left( v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} dy \right) dx \quad (4)$$

**En donde:**

$\partial v_x / \partial x$  = cambio de flujo de Darcy en dirección  $x$

$\partial v_y / \partial y$  = cambio de flujo de Darcy en dirección  $y$

Cuando no se producen alteraciones globales en el control volumétrico, y los volúmenes de entrada y salida son idénticos interviene la siguiente fórmula:

$$0 = (\partial v_x / \partial x) dx dy + (\partial v_y / \partial y) dy dx \quad (5)$$

En cuerpos cuadrados con dimensiones unitarias ( $dx = dy = 1$ ) la ecuación (4) cambia a la forma:

$$0 = \partial v_x / \partial x + \partial v_y / \partial y \quad (6)$$

En relación al flujo existente en las direcciones  $x$  e  $y$  la ley de Darcy se reduce a:

$$v_x = k_x \partial h / \partial x \quad (7)$$

**En donde:**

$k_x$  = conductividad hidráulica en la dirección  $x$ .

y...

$$v_y = k_y \partial h / \partial y \quad (8)$$

**En donde:**

$k_y$  = conductividad hidráulica en la dirección  $y$ . Sustituyendo en la ecuación (6) se obtiene:

$$0 = k_x \partial^2 h / \partial x^2 + k_y \partial^2 h / \partial y^2 \quad (9)$$

Cuando, por último se produce un flujo, isótropo  $k_x = k_y$ , la *ecuación de Laplace* (9) en un campo de flujo bidimensional sería:

$$\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2 = 0 \quad (10)$$

Esta ecuación determina un volumen de carga hidráulica existente en cualquier punto de un campo de flujo bidimensional. Si el flujo es tridimensional la ecuación de Laplace se convierte en:

$$\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2 + \partial^2 h / \partial z^2 = 0 \quad (11)$$

La cantidad de carga hidráulica varía en función de la posición en el campo del flujo, y no de la conductividad hidráulica en condiciones de flujo isótropo. Al aplicar la ecuación de Laplace se asume que el flujo es estable (no varía con el tiempo). En condiciones de flujo inestable o variable las ecuaciones aplicables dentro de un código de aguas subterráneas son más complejas. La ecuación de Laplace puede ser adaptada a estas condiciones en acuíferos cerrados saturados del modo siguiente: (LAGREGA et al. 1998, p. 200)

$$\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2 + \partial^2 h / \partial z^2 = (\rho g (\alpha + n\beta) / k) (\partial h / \partial t) \quad (12)$$

**En donde:**

$x, y, z$  = posiciones en el sistema de flujo

$h$  = carga hidráulica (cm)

$\rho$  = densidad del agua ( $g/cm^3$ )

$g$  = aceleración gravitacional ( $cm/seg^2$ )

$\alpha$  = compresibilidad del acuífero ( $cm^2/N$ )

$n$  = porosidad del acuífero (*adimensional*)

$\beta$  = compresibilidad del agua ( $cm^2/N$ )

$k$  = conductividad hidráulica (cm/s)

$t$  = tiempo (s)

En condiciones discontinuas la ecuación de Laplace revela que la carga se encuentra en función de cuatro valores variables ( $x, y, z, t$ ) y de seis constantes ( $g, n, k, \alpha, \beta, \rho$ ). (LAGREGA et al. 1998, p. 201)

La ecuación de Laplace para flujos inestables horizontales en acuíferos libres saturados es:

$$\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2 + \partial^2 h / \partial z^2 = (S/T) (\partial h / \partial t) \quad (13)$$

**En donde:**

$x, y, z$  = posiciones en el sistema de flujo

$h$  = carga hidráulica ( $cm$ )

$S$  = almacenamiento del acuífero ( $g/seg$ )

$T$  = transmisividad del acuífero ( $cm^2/seg$ )

$t$  = tiempo ( $seg$ )

Algunos procesos de frenado, como la sorción y el intercambio de iones, tienen influencia en las ecuaciones de traslado dentro de un código. Para su cálculo los programas de modelamiento agregan un factor empírico de frenado. (LAGREGA et al. 1998, p. 202)

El traslado de sustancias contaminantes en el subsuelo responde también a gradientes de tipo hidráulico como la advección y de tipo químico como la difusión. La ecuación unidimensional de advección y dispersión para componentes disueltos no reactivos en acuíferos isótropos homogéneos, bajo condiciones de flujo saturado estable es:

$$D_l \frac{\partial^2 C}{\partial l^2} - v_l \frac{\partial C}{\partial l} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (14)$$

**En donde:**

$D_l$  = coeficiente longitudinal de dispersión hidrodinámica

$C$  = concentración de sustancia sorbida

$v_l$  = velocidad lineal media de las aguas subterráneas

$t$  = tiempo

El coeficiente  $D_l$  es el resultado de los procesos de dispersión mecánica y difusión molecular, y se incluye con esta ecuación:

$$D_l = \alpha_l v + D^* \quad (15)$$

**En donde:**

$\alpha_l$  = dispersión longitudinal

$D^*$  = coeficiente de dispersión molecular

Los procesos de atenuación, aumento de movilidad y frenado contribuyen a la reducción de la concentración de componentes orgánicos e inorgánicos en las aguas subterráneas.

Un software determina la influencia de estos procesos de modo conjunto definiendo un factor  $F$  de frenado del modo siguiente:

$$F = 1 + \frac{\rho_b}{n} K_d \quad (16)$$

**En donde:**

$\rho_b$  = densidad de masa global del medio poroso

$n$  = porosidad

$K_d$  = coeficiente de distribución

Se incluye el factor de frenado modificando la ecuación (14) de forma siguiente:

$$\frac{1}{F} \left( D_l \frac{\partial^2 C}{\partial l^2} - v_l \frac{\partial C}{\partial l} \right) = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (17)$$

Conociendo las condiciones en que se halla el terreno y las sustancias químicas que en él se encuentran se puede estudiar los procesos de transporte y el destino de los contaminantes de forma más precisa incluyendo los fenómenos de aumento y frenado de la movilidad que experimentan; aunque estos estudios son costosos. (LAGREGA et al. 1998, p. 205)

## **CAPÍTULO II**

### **2. METODOLOGÍA**

#### **2.1. Fuentes de Información Inicial**

Para empezar se realizó una descripción general de la Extractora, relacionada a aquellas características y datos de interés útiles en el estudio efectuado.

Para recolectar información de la Extractora de aceite de palma PEXA S.A. se realizaron entrevistas al personal administrativo y encargados de las operaciones con el fin de obtener información real de las actividades que se realizan en la extractora, para lo cual se acudió al Ing. Jaime Pazmiño Consultor Ambiental que trabaja en el sector de interés como persona de contacto con el Gerente de la empresa, Señor Patricio Egas, el cual autorizó el ingreso hacia las instalaciones de la extractora y servirá junto al personal administrativo como fuente de información en cuanto a datos específicos de producción, tipos de productos utilizados y desechos generados, de esta manera se podrá recabar información complementaria para la elaboración confiable del estudio de contaminación.

#### **2.2. Coordenadas de Ubicación, Registro Visual y Mapas Geográficos**

##### **2.2.1. Registro Visual y Toma de Coordenadas**

Al momento de reunir información se debe apoyarla con registros visuales y debido a la extensión de la zona de estudio se realizó un recorrido con una persona que conozca todos los sectores e instalaciones con que cuenta la extractora; ésta será una persona que además conozca el proceso de la extracción de aceite y los equipos empleados para ello y también está capacitada para responder preguntas relacionadas con los desechos y efluentes generados en la extractora y servirá como guía hasta cada punto de interés para la toma de coordenadas.

En el recorrido se realizó una primera observación directa de las condiciones reales en las que se encuentra la Extractora junto con su sistema de depuración de aguas y obtener un registro fotográfico

de las mismas. Con la utilización del GPS en el sistema UTM WGS 84 se determinará la ubicación georreferenciada de la Extractora Para la toma de coordenadas se utilizará el GPS Garmin Gpsmap y un teléfono celular SONY XPERIA con una cámara fotográfica de 20.7 megapíxeles como herramientas.

### **2.2.2. Cartografía y Mapa de Ubicación**

Con la colaboración del Ing. Jaime Pazmiño, quien facilitó la cartografía base digitalizada en el programa ArcGis 10.0. 2010, y con la ayuda del programa ArcMap 10.0-2010 se establecieron la Provincia, Cantón y Parroquia actual a la que pertenece la extractora y así diseñar el mapa de ubicación con las coordenadas tomadas y en el que se han de visualizar los siguientes elementos: límites geográficos, vías, ríos, poblados, parroquias y cantón. La Cartografía digital además servirá dentro del desarrollo, presentación y conclusión del proyecto realizado y georreferenciado en su zona de estudio y el área de influencia.

### **2.2.3. Mapas Específicos de Estudio:**

Los mapas específicos con las características necesarias para el estudio son:

- Mapa de localización geográfica de la Extractora de aceite de palma PEXA S.A.
- Mapa de geomorfología, que señala las formaciones geomorfológicas de la zona donde se ubica la extractora.
- Mapa de tipo de clima registrado en la zona donde se asienta la extractora.
- Mapa de uso actual del suelo en zonas cercanas a la extractora.
- Mapa de hidrografía, donde se indicarán varios recursos hídricos cercanos a la extractora.

### **2.3. Actividades que se Realizan en la Extractora**

Se han de recorrer todos los sectores de la Extractora de forma sistemática y en horarios de trabajo para obtener los datos importantes acerca de las actividades de producción emisiones, descargas y mantenimiento de equipos, productos y herramientas utilizados que serán otorgados por el mismo personal que trabaja dentro de la Empresa.

### **2.3.1. Áreas y lugares de operación de la Extractora**

Para establecer los lugares claves del estudio y determinar zonas destinadas al proceso de producción y aquellas en donde se emite contaminación, se ha de proceder con la descripción de las áreas de la extractora; cómo se encuentra distribuida y qué elementos la conforman, por lo tanto se realizará una descripción de estos lugares en general y, de forma detallada en aquellos de nuestro particular interés con respaldos fotográficos y de Georreferenciación:

- Acceso y Estacionamiento
- Oficinas y Administración
- Cocina y Comedor
- Bodega de insumos
- Nave Industrial de extracción
- Piscinas de oxidación.
- Área de mantenimiento y Taller
- Patio de descarga de la fruta
- Jefatura de producción y Laboratorio
- Área de generadores

## **2.4. Levantamiento de la Línea Base para el Proyecto**

### **2.4.1. Diagnóstico ambiental**

La línea base refleja la situación inicial del ambiente y la población que de una u otra forma está relacionada con los aspectos que el proyecto abordará. Se elabora tomando en cuenta parámetros de los componentes físico-químico, biótico, socioeconómico y cultural.

En primer lugar se debe conocer la situación inicial del medio en el que se encuentra la extractora y sus componentes (físico-químico, biótico, socioeconómico y cultural), previo a la descripción de estos componentes se deberá establecer el área de influencia (directa e indirecta). La caracterización de una línea base con sus respectivos indicadores servirán como marco de referencia cualitativo y cuantitativo para poder analizar y evaluar los resultados e impactos relacionados con la presencia de la Extractora y su sistema de tratamiento de aguas.

Por lo tanto para describir el transporte que sufren ciertos contaminantes dentro de las lagunas del sistema de depuración de aguas residuales de la Extractora PEXA S.A. y su migración a las diferentes fases del ambiente, es necesario recabar toda la información que servirá de punto de partida para el desarrollo del proyecto, y esto queda sustentado con el recorrido, la observación de las instalaciones y conversaciones con el personal en la visita hecha a la extractora.

#### **2.4.2. Determinación del área de influencia (AI) de la extractora PEXA S.A.**

Con la necesidad de ubicar el proyecto dentro del panorama de la Extractora “PEXA S.A.” Y siguiendo la metodología recomendada, primero se delimitarán las áreas de influencia ambiental en los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos, en estos se realizarán las investigaciones temáticas sobre climatología y riesgos naturales, geología y geomorfología, hidrología, usos del suelo, flora, fauna, condiciones socioeconómicas y demográficas de la comunidad aledaña al sector. Es una información importante para el desarrollo del estudio.

Al definir el área de influencia se puede limitar una zona espacial en la cual se efectúa la descripción de la línea de base e identificar el área de los efectos ambientales ocurridos. Para tener una mayor comprensión y facilidad de análisis de la situación ambiental de la zona, para este proyecto se identificarán dos áreas o zonas de influencia:

El área de influencia directa (AID) que constituye el espacio físico donde las actividades de la extractora “PEXA S.A.” influyen en mayor intensidad en las alteraciones de los componentes ambientales especificados dentro del área definida, y determinada por la alteración constante que causan las actividades dentro de la Extractora.

El área de influencia indirecta (AII) que corresponde al espacio físico, cuya delimitación es más flexible y extensa porque involucra pueblos de una zona o región que son los lugares más extremos hasta donde se prevé que la alteración de los componentes tenga relación con las actividades de la Extractora, y más aquellas de tipo socioeconómico demográfico y cultural.

Con la determinación del AID y AII, se describirán cada uno de los componentes diferenciando las áreas ya delimitadas. Esto permitirá un conocimiento confiable del medio que se quiere describir, y así se podrán precisar mejor las condiciones ambientales existentes en la Extractora.

### **2.4.3. Componentes de la línea base ambiental**

Es la etapa que comprende la descripción detallada de los componentes ambientales definidos en el AI, así como de aspectos específicos propios del AID. A continuación se describen estos componentes:

### **2.4.4. Componente Físico**

Para su determinación y para conocer el estado ambiental de la zona, se realizó la caracterización de los componentes del AID y también se analizó estudios hechos con anterioridad sobre el área, clasificando lo más útil de la Información recolectada, y de esta forma reportar datos que se ajusten a los requerimientos del estudio, incluyendo además material visual como mapas, cuadros y referencias.

#### **Información Meteorológica**

También se necesita recabar información meteorológica referente a la precipitación, temperatura y humedad relativa de la región. Estos datos se tomarán de la estación meteorológica La Concordia (Cód. M025) ubicada en la Provincia de Esmeraldas, con una ubicación geográfica: 0°01'29"N y 79°22'49"W y ubicada a 379 m.s.n.m. por ser es la estación más cercana a la extractora y al Cantón Quinindé.

#### **Geología y Geomorfología**

La descripción geomorfológica del sector es muy importante dentro del estudio por cuanto la difusión de los contaminantes se da a través del perfil del suelo por tanto se ubicó el área dentro del contexto geológico regional. Se enumera y caracteriza los tipos de roca existentes de acuerdo a los estratos característicos del suelo, poniendo énfasis en su granulometría y permeabilidad. La revisión geomorfológica estará muy relacionada con los modelos de migración de contaminantes que se pretenden desarrollar y encaminada al conocimiento de las distintas unidades que forman la zona, así como su susceptibilidad a la difusión de sustancias, erosión y características de estabilidad, que permite establecer una base para el desarrollo del proyecto.

#### **Hidrología**

La descripción hidrológica tiene que ver con la proximidad que un cuerpo de agua tiene con la extractora y en especial con el sistema de depuración de sus aguas residuales. Se observan los recursos

hídricos que existen dentro del Área de Influencia enmarcándolos dentro del contexto local del estudio junto con una revisión bibliográfica y un recorrido breve por el sector. Es importante también el muestreo y análisis del recurso hídrico que sale del proceso de extracción del aceite de palma por cuanto el destino de las descargas luego de su tratamiento serán los ríos cercanos al Área de Influencia.

### **Uso del suelo**

Este aspecto tiene que ver con las actividades que se realizan dentro del área de influencia, aquí se distinguirán entre zonas de cultivo, la clase de esos cultivos, zonas industriales como la extractora, centros poblados y centros educativos de forma georreferenciada. Para describir el uso actual del suelo, se procederá a una revisión bibliográfica y con un recorrido por el sector se comprobará en la etapa de campo junto con el uso de mapas que corroboren la información obtenida. Las condiciones de los suelos en el AID de la Extractora se analizarán de acuerdo al muestreo de los sedimentos acumulados en el fondo de la laguna de oxidación primaria por ser esta la fuente en donde se descargan los residuos de la producción e interactúan con el suelo.

#### **2.4.5. Componente Biótico**

El medio biótico es el conjunto de elementos vivos que se desarrollan dentro de un sistema ecológico, en donde estos interactúan con elementos físicos permitiendo el origen y funcionamiento de un ecosistema o paisaje natural. Para el área de influencia tanto directa como indirecta del estudio, se aplicará la metodología de Evaluaciones Ecológicas Rápidas (EER), que está diseñada para investigar y evaluar ecosistemas tropicales, utilizando técnicas que permitan obtener información general de la flora y fauna de un área determinada.

Esta metodología incluye una fase de campo en la cual se recabará información específica del área evaluada y una fase estudio bibliográfico para recopilar información existente del área de influencia.

Durante la fase de campo se realizarán recorridos de observación y recolección de información en las zonas de influencia directa e indirecta de la Empresa junto con el respaldo fotográfico también incluido dentro del diagnóstico ambiental. En la fase de recopilación se realizará el procesamiento y análisis de los datos y se lo comprobará con la bibliografía, así como la elaboración de los resultados que se incluyen como parte del diagnóstico ambiental.

Dentro del AID se tomará en cuenta exclusivamente:

- Las especies vegetales su grado de conservación e intervención humana. La descripción será mediante una observación directa complementándola con estudios previos de la flora ecuatoriana en la zona de estudio y con información secundaria proveniente de Catálogo de Plantas Vasculares del Ecuador.
- La descripción de los recursos faunísticos de la zona tanto especies endémicas como aquellas introducidas por el hombre y registradas dentro del AID. Para el levantamiento de información se hará uso de información actualizada de la Fauna del Ecuador y comparando los nombres comunes y científicos de las especies registradas en el campo.

Evaluar la diversidad y abundancia de las especies dentro del Área de influencia supone un trabajo muy elaborado que se ve complicado por la colonización que el área de estudio ha experimentado a lo largo de los años, debido a este estado de intervención antrópica y por la distribución dispersa de las formaciones vegetales dentro del área del proyecto no se consideró.

#### **2.4.6. Componente Socioeconómico y Cultural**

El área de estudio pertenece a una extensa zona del ecosistema Tropical Húmedo, en donde se han desarrollado asentamientos humanos de distinta densidad poblacional, pero desde hace tiempo sus actividades agrícolas y ganaderas han avanzado hacia actividades industriales de manufactura de los recursos naturales con un intenso uso de la tierra y el agua en la práctica generalizada de monocultivos de Palma Africana.

Los componentes relacionados con el componente socioeconómico se tomarán en cuenta como parte de AII y serán analizados a partir de información, datos y estadísticas de los Planes de Desarrollo Cantonal, Censo de Población y Vivienda 2010 y por los encuestadores y demás personal involucrado en este proyecto junto con el recorrido del sector. Los resultados serán incluidos dentro de la evaluación ambiental, al ser considerado el factor humano como componente fundamental del ambiente. Se describirán los siguientes indicadores:

- Aspectos demográficos.
- Condiciones económicas
- Servicios básicos y vivienda

- Tenencia de tierras
- Comercio
- Salud
- Educación

## **2.5. Metodologías del Muestreo**

### **2.5.1. Requisitos para un muestreo confiable**

El objetivo del muestreo en una visita de inspección es constatar que se cumplan las normas y condiciones especificadas por la legislación actual. Esto es independiente de cualquier clase de estudio o monitoreo que se realice pues se debe evaluar los resultados de los análisis en comparación con las normas medioambientales de calidad.

Dentro del estudio realizado en la extractora PEXA S.A. es necesario someter a los componentes a un análisis de su estado ambiental actual; para ello el primer paso luego de haber definido el AI es proceder a la toma de muestras representativas que evidencien de forma puntual y real el estado actual del lugar de estudio. Los aspectos técnicos necesarios para un muestreo confiable en la Extractora son: la determinación del sitio que represente al total de la descarga, la precisión con que el personal implicado ejecute la toma de muestras, el uso de equipos y materiales adecuados para la toma de muestras, la preservación de las mismas y el transporte seguro.

Adicionalmente a la toma y al manejo de las muestras, la visita de inspección y verificación debe ser documentada como un soporte del muestreo conocido como bitácora de campo. Esta bitácora de campo sirve para la planeación y preparación del muestreo, para llevar el conteo de submuestras que se necesitan y para asegurar que éstas estuvieron bajo vigilancia desde la toma hasta la entrega al laboratorio.

### **2.5.2. Plan de muestreo y Metodología**

Para empezar, contando con la información sobre las características de la Industria extractora de aceite de palma se ha determinado que la descarga es de tipo industrial.

Es importante georreferenciar la localización de la descarga junto con su registro fotográfico incluido el momento de la toma de las muestras para respaldar el muestreo, y justificar los lugares más

representativos de la descarga para tomar las muestras. La información adquirida servirá para inferir el tipo de contaminantes que se pudieran esperar en la descarga y otros datos que permitirán la selección del material, equipo de muestreo y de seguridad a emplear. El muestreo a realizarse dentro de la Extractora PEXA S.A. constituye una parte fundamental dentro del estudio de la contaminación de las piscinas de oxidación.

Se realizó la visita a las instalaciones de PEXA S.A. ubicadas en el Km. 47 Vía Santo Domingo de los Colorados, en la Parroquia La Unión, Cantón Quinindé, Provincia de Esmeraldas. El Ing. Guido Rubio accionista de la Extractora prestó su ayuda como guía durante el recorrido y el muestreo y, junto con el Ing. Jaime Pazmiño como colaborador externo se procedió a la toma de muestras dentro de las piscinas de oxidación.

En la visita de campo dentro de las instalaciones de la extractora se pudo observar que de las cuatro piscinas existentes una sola es la que se encontraba en funcionamiento recibiendo justo en ese momento las descargas líquidas producto del proceso de extracción del aceite rojo de palma. Ante este escenario el plan de acción consistió en la toma de muestras de agua y sedimentos (lodos) de la piscina en funcionamiento y también sus medidas (ancho, largo profundidad), para conocer el perfil del fondo de la laguna la medición de la profundidad se tomó en diferentes puntos de la misma para conocer de forma más precisa el perfil de fondo de la piscina y poder dimensionarla.

### **2.5.3. Personal requerido para el muestreo**

En las visitas realizadas a la extractora hubo el apoyo de personal capacitado y calificado para el correcto desarrollo del proyecto, fueron alumnos del séptimo y octavo nivel de la carrera de Ing. En Biotecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, cuya preparación académica y destrezas en la recolección de muestras fueron muy útiles en el momento requerido. Así también la presencia y supervisión por parte del personal experimentado en muestreo de la consultora CASTECAM fue de gran utilidad, ya que el seguimiento de las técnicas de recolección y preservación de las muestras tienen una gran importancia, la muestra colectada debe asegurar que los resultados analíticos obtenidos representen la composición actual de la misma.

**Imagen N° 2-1:** Personal involucrado en las labores de muestreo dentro de PEXA S.A.



**Fuente:** Javier Basantes

#### **2.5.4. Materiales y equipos**

Los materiales y el equipo necesario para el muestreo, van desde un esfero hasta sustancias para preservación, hieleras y hielos para el transporte de las muestras. Un plan de muestreo completo protege a los que toman las muestras contra errores y minimiza la posibilidad de invalidar los resultados obtenidos. Los análisis de calidad del agua y suelo son caros y requieren que las muestras se alteren lo menos posible, que sean representativas y sirvan a los objetivos de la visita de inspección.

Se ha determinado que para el muestreo de agua y sedimentos en una laguna de oxidación se debe contar con la ayuda de un equipo flotante para el ingreso al interior de la piscina; es evidente ante la necesidad de determinar además la profundidad de ésta en diferentes puntos de su superficie. La

consultora Ambiental CASTECAM a través de su representante Ing. Jaime Pazmiño facilitó este equipo al personal encargado del muestreo.

Cuando se hacen los preparativos del muestreo, es mejor llevar envases y bolsas suficientes, incluyendo envases extras de muestreo previendo que existan roturas o contaminación en el campo. Todos los envases se habrán lavado y preparado tal como lo indican las técnicas específicas de muestreo del parámetro a analizar.

A continuación se enumeran los distintos materiales y equipos utilizados:

- Boyas de flotación
- Estructura de madera
- Sogas de diferentes longitudes
- Flexómetro
- Botas de Caucho
- Guantes de Látex
- Mascarilla
- Cámara Fotográfica Sony 20.7MP
- GPS Garmin Gpsmap
- Draga de Inmersión tipo Ekman
- Termómetro
- Botellas de plástico limpias.
- Bolsas Ziploc
- Papel aluminio
- Balde de plástico
- Cooler
- Bolsas con hielo
- Cuaderno de apuntes y calculadora.

#### **2.5.5. Metodología para el Muestreo de Aguas**

Para la interpretación de los resultados de los análisis de laboratorio y su aplicación práctica es requisito fundamental realizar antes un adecuado muestreo del agua residual de las descargas. La

persona encargada de tomar las muestras de agua residual debe estar calificado y bien capacitado, también debe dar información acerca de las condiciones del lugar y la forma en que se realiza el muestreo. Las muestras de agua residual deben recolectarse de forma tal que se evite contaminación secundaria de las muestras, se debe evitar los cambios físico-químicos y si no pueden evitarse se debe preservar la muestra refrigerándola para luego trasladarla lo más pronto posible al laboratorio.

Los parámetros que no se pueden analizar en campo requieren almacenamiento a baja temperatura (4°C); para asegurar que la sustancia a analizar estará presente en la muestra y no se degradará antes que el laboratorio efectúe el análisis. Para ello se deben llevar las hieleras necesarias con hielo.

Esta refrigeración inmediata es importante para los análisis microbiológicos y determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), las aguas residuales contienen múltiples microorganismos cuyas reacciones continúan en la muestra tomada y la refrigeración reduce estas actividades microbiológicas.

Se debe descontaminar todos los equipos antes de usarlos, enjuagando varias veces con agua limpia. Antes de tomar las muestras de agua residual, se deben seguir los requisitos de seguridad e higiene que imperan dentro de la extractora.

La toma de muestras del agua se realizará dentro de la laguna de oxidación primaria al momento mismo en el que se realiza la descarga para obtener datos de primordial importancia como la temperatura del agua, el muestreo será de tipo simple por ser una serie de tomas individuales obtenidas en el instante que se haya producido el flujo de descarga y se realizará en diferentes lugares de la laguna, luego estas submuestras se integrarán y homogenizarán a fin de obtener un volumen representativo y suficiente como para efectuar los análisis.

La persona encargada de recolectar las submuestras deberá ingresar dentro de la laguna de oxidación, con sumo cuidado y portando el equipo de seguridad necesario deberá recoger el agua de los lugares determinados para la toma de muestras.

**Imagen N° 2-2:** Puntos de muestreo de agua dentro de la Laguna de Oxidación.



Fuente: Javier Basantes

### 2.5.6. Metodología para el Muestreo de Lodos

De acuerdo al objetivo del estudio que se desea cumplir, la recolección del sedimento del fondo de la piscina de oxidación requiere del uso del equipo de flotación y de la draga. Se debe seguir todas las normas de seguridad necesarias para evitar accidentes al momento del muestreo, debido a la extensión de la piscina de oxidación la recolección del sedimento se realizará en diferentes puntos, para esto será necesaria la ayuda de más personas que guíen el equipo de flotación a lo largo de la laguna.

Las dragas están formadas por un par de paletas móviles que cuando se cierran atrapan cierta cantidad de sedimento más próximo y a su vez también atrapan los organismos asociados a éste, las dragas del tipo Ekman, presentan en su parte superior un mecanismo para la abertura articulada y varios agujeros perforados que permiten al agua salir durante los viajes que efectúa la draga, estos orificios amenoran el disturbio del sedimento reduciendo las interferencias y perturbaciones externas que ocurren por la onda de choque frontal al momento que la draga desciende abruptamente. (SAIXO. 2002)

La mayor ventaja de estos artefactos procede de su facilidad de uso además de poder muestrear cantidades representativas de sedimento incluyendo los organismos que contiene, aunque su principal desventaja es que durante su ascenso parte de los organismos y sedimentos más finos son lavados, es por esa razón que se deben efectuar varias tomas a fin de obtener una muestra lo suficientemente representativa para ser analizada. Además la profundidad de penetración de la draga es relativamente

baja dependiendo de la cantidad de sedimento que exista acumulado en el fondo del lugar que se desea muestrear.

Las dragas tipo Ekman son variables en tamaño habiendo modelos manuales usados para muestrear lechos de riachuelos y canales hasta aquellos hasta aquellas tan grandes que deben ajustarse en grúas dentro de embarcaciones grandes en mar abierto. (SAIXO. 2002)

La draga tipo Ekman usada dentro de la piscina de oxidación mide alrededor de 20x20cm en sus paletas o boca dentada y está construida en acero inoxidable que es resistente a la corrosión además de reducir las perturbaciones de las muestras obtenidas. Las paletas articuladas se unen a la caja, es allí donde la muestra es colectada. El mecanismo de disparo para el muestreo consiste en un par de resortes ubicados sobre cada paleta que a su vez están atadas a unas sogas que forman parte del mecanismo de descenso uniforme de la draga.

El mecanismo de disparo de la draga funciona de la siguiente manera: Primero se requiere tirar de ambas sogas atadas a las paletas a la vez para abrir la boca de la draga y luego asegurarlas en un par de ganchos existentes en el mecanismo, en la cara superior de la caja receptora hay orificios que permiten que el agua fluya a medida que la draga se sumerge, el sedimento recogido en cada sumergida será luego depositado en un balde con el objetivo de reunir una cantidad de muestra lo bastante significativa como para que puedan realizarse los análisis posteriores a parte de eliminar también el exceso de agua.

Al momento de subir la draga se debe sujetarla de la guía principal liberando además las sogas laterales sujetas a las cucharas, esto con el objetivo de que el impulso ascendente inicial cierre totalmente las cucharas de la draga, atrapando la mayor cantidad de sedimento posible; la muestra será descartada si las cucharas no están totalmente cerradas pues esto indica que en su ascenso el sedimento fue lavado en las aguas.

La toma de muestra del sedimento se realizó en el mismo instante y en diferentes lugares de la laguna de oxidación para obtener submuestras que puedan ser representativas y evidencien la situación en la que se desarrolla la descontaminación de estos residuos, de esta manera los resultados son más efectivos.

Luego de recogidas todas las submuestras se debe homogenizarlas dentro de un balde o recipiente de boca ancha, la homogenización asegura la representatividad de la muestra de la muestra además que es útil para sacar materiales como piedras o ramas que son arrastrados del fondo junto con el lodo.

Hecha la homogenización las muestras de sedimentos se guardan recubriéndolas con papel aluminio para evitar que el ambiente las contamine y altere sus condiciones, la muestra a su vez debe ser guardada dentro de una bolsa plástica Ziploc con cierre hermético antes de ser depositada dentro de la hielera o cooler para su envío al laboratorio.

**Imagen N° 2-3:** Puntos de muestreo de sedimentos dentro de la Laguna de Oxidación



Fuente: Javier Basantes

### 2.5.7. Etiquetado, Transporte y Entrega de las Muestras

Las muestras de aguas y sedimentos obtenidas deben ser etiquetadas para asegurar que la información es confiable y no haya errores en su ingreso al laboratorio. Una muestra es evidencia física. Por lo tanto, tiene que haber control y vigilancia desde que se toma en la descarga, hasta que el laboratorio analiza y reporta el resultado. Ese seguimiento se conoce como cadena de custodia y asegura la rastreabilidad de la muestra. Al momento de empacar las muestras hay que preparar el cooler colocando bolsas de hielo que disminuyan la temperatura interior y aseguren la conservación de las muestras. La temperatura en el interior de las hieleras se debe mantener a aproximadamente 4°C.

Al momento de entregar las muestras se debe aportar toda la información necesaria al encargado de recibirlas por parte del laboratorio acreditado. Por eso es importante anotar todo en la bitácora de campo para que lo que se dice concuerde con lo que se anotó y con lo que se está entregando. Las muestras ingresan al laboratorio para determinaciones específicas que se necesitan dentro del estudio realizado; además, la responsabilidad de las condiciones del muestreo y la validez de las mismas son responsabilidad del equipo que las recogió, sus condiciones de conservación y transporte. Por ello, el equipo de muestreo debe tener experiencia en esta labor. Las muestras son rotuladas al menos con los datos de fecha, hora, tipo de descarga y lugar del muestreo; también se debe anotar si existe un tratamiento previo de las aguas residuales, como se trata de aguas residuales de tipo industrial se anotará el nombre de la extractora, al ingreso de la muestra en el laboratorio si es requerido se detallará los productos que se elaboran en la extractora ya que esto dará información a los analistas de la validez de los análisis realizados.

Las muestras y toda la información que sea necesaria serán entregadas al personal del laboratorio CESTTA, ellos se encargarán de analizarlas y entregar los resultados de cada análisis con los métodos y normas usadas y sus respectivas incertidumbres de forma responsable y precisa.

Los parámetros a analizar en las muestras serán tomados de la Tabla 2 del Anexo 2 del Libro Sexto del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), denominada Criterios de calidad del suelo. Esta tabla muestra valores o límites analíticos de detección para un contaminante en el suelo. Los criterios de calidad evaluados para el suelo en la Extractora PEXA S.A. se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla N° 2-1:** Criterios de calidad del suelo

PARAMETROS	UNIDADES	LIMITE PERMISIBLE EN SUELO
Potencial de Hidrógeno	-	6 a 8
Conductividad Eléctrica	μS/cm	2mmohs/cm o 2*10 <sup>6</sup> μS/cm
Fenoles	mg/Kg	0,1
Benceno	mg/Kg	0,05
Tolueno	mg/Kg	0,1
Xileno	mg/Kg	0,1
Cadmio	mg/Kg	0,5
Plomo	mg/Kg	25
Cromo Total	mg/Kg	20
Cobre	mg/Kg	30
Arsénico	mg/Kg	5

Realizado por: Javier Basantes.

Fuente: Tabla 2 del Anexo II del Libro VI del TULAS Criterios de Calidad del Suelo.

## **2.6. Análisis IN SITU**

### **2.6.1. Análisis de Temperatura**

Los valores de temperatura del agua al momento de la descarga son un parámetro que se debe obtener in situ, puesto que la refrigeración de las muestras es necesaria en su traslado hasta el laboratorio. El termómetro se debe sumergir en el agua hasta el nivel de lectura luego se espera hasta que la temperatura permanezca constante, esto tarda alrededor de un minuto. Si se vuelve difícil medir la temperatura en el momento de ingresar a la laguna de oxidación se puede medir luego desde el envase que se usó para recoger la muestra de agua, este envase debe ser homogenizado un par de veces antes de recoger la muestra de agua en el punto determinado.

Se tomarán muestras de nueve puntos para determinar las temperaturas del agua dentro de la piscina de oxidación; es necesario hacerlo pues los cambios de temperatura que se producen en la descarga determinan pequeñas variaciones de densidad en el agua a lo largo de la piscina y este es un parámetro que debe ajustarse con la temperatura promedio en el que se encuentra el agua descargada en la piscina de oxidación.

### **2.6.2. Prueba sensitiva in situ**

Las pruebas sensitivas se refieren al aspecto exterior que tiene el agua muestreada, es decir si es un agua clara o turbia, si a simple vista tiene coloración propia o es debida a presencia de sólidos o materia disuelta, si tiene olor, etc. El olor debe describirse lo más exactamente posible especificando la intensidad y el tipo. Se utilizaron cinco niveles para establecer la intensidad del olor de la muestra de agua obtenida.

- Muy débil: Percibido solo por alguien con gran experiencia.
- Débil: Comparado con una muestra de agua pura.
- Nítido: Percibible por la mayoría de las personas cercanas.
- Fuerte: De olor desagradable percibido por todas las personas cercanas.
- Muy Fuerte: De olor nauseabundo evidente.

El significado de los límites de olor en aguas de descarga residuales no es sumamente importante por cuanto estas aguas aún no han sido tratadas y se espera que tengan un olor fuerte, sin embargo el olor da una pauta de la contaminación existente al término de los procesos del aceite de palma.

Cuando la descripción visual del agua incluye también la referida al color, así mismo la prueba debe realizarse in situ. Para ello la coloración se puede determinar mediante inspección visual, pudiendo ser descrita como sigue:

- Incolora.
- Muy poca coloración.
- Coloración tenue.
- Fuerte coloración.

Cada descripción realizada se complementa con la indicación de los matices, es decir, si el tono es amarillento, pardo-amarillento, pardusco, verde-amarillento, rojo, negro-pardusco, negro, etc.

No existen pruebas de sabor en aguas residuales.

La transparencia y turbiedad son pruebas solo descriptivas y se realizan solo con fines de referencia. Esto no permite deducir la calidad y las sustancias contenidas en el agua. La transparencia es influenciada por el color y la posible turbiedad del agua. La turbiedad es provocada por la materia orgánica e inorgánica en suspensión o de soluciones coloidales. En la muestra de agua puede haber partículas de lodo, ácidos, hidróxidos, metales, plancton, bacterias y otros microorganismos. Las determinaciones de transparencia y turbiedad deben determinarse después del muestreo en un plazo no mayor a 24 horas; por tanto solo serán determinadas de forma descriptiva in situ.

### **2.6.3. Determinación de la Velocidad de infiltración y Conductividad Hidráulica**

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos. Las unidades de medida de la infiltración usadas son el mm/h, y el mm/día, sin embargo depende del método y la facilidad del muestreo el determinar las unidades de medición. Estas unidades determinan que la infiltración se expresa como una velocidad. (IBAÑEZ, et al. 2003)

Existen numerosos métodos para determinar la velocidad de infiltración en un suelo, en el caso de la extractora PEXA S.A. se escogió el infiltrómetro de anillo, el cual es apto para casi todos los tipos de terreno y se aplica en proyectos de irrigación y drenaje, en cuencas de infiltración y aguas subterráneas, para estudiar áreas destinadas al tratamiento de efluentes industriales, en la optimización de la disponibilidad de agua para plantas y para determinar los efectos del cultivo.

### **2.6.3.1. El Método de Münz**

El fundamento de este método requiere agregar agua a una porción de suelo determinado y limitado por uno o dos anillos concéntricos para luego de un tiempo en el que se alcanza la condición de saturación medir la variación del nivel del agua en el cilindro o el cilindro interior en caso de un infiltrómetro de doble anillo. El principio del método desarrollado por Münz consiste en que al colocar el anillo al paso de tiempo en el ensayo se llega a un punto de saturación del terreno, allí el  $\Delta H$  obtenido por la diferencia de nivel del agua en el anillo es causada por la infiltración del agua que abandona el cilindro y que termina ingresando por la superficie del terreno en el que ha sido ubicado debido a la fase porosa propia de cada suelo. (IBAÑEZ, et al. 2003)

El flujo de agua que abandona el anillo interior y su medida de descenso es a su vez el valor de la infiltración. En algunos infiltrómetros, el anillo exterior tiene como función el evitar las infiltraciones laterales u horizontales del agua actuando como una zona tampón rodeando al cilindro interior, de modo que las mediciones serán solo aquellas causadas debido al flujo vertical del anillo interno.

#### **Equipo utilizado**

- Infiltrómetro de doble anillo.
- Nivel de burbuja.
- Combo.
- Balde.
- Cronómetro

#### **Procedimiento**

La fiabilidad de los resultados obtenidos depende de la adecuada elección del lugar elegido la realización de la prueba y que la metodología usada sea la conveniente.

De esta forma el método del infiltrómetro de doble anillo es una alternativa muy conveniente porque su traslado es fácil y es un equipo muy resistente a las condiciones que suponen su traslado hasta el sitio de prueba. Los anillos utilizados pueden ser de hierro, acero o incluso de plástico resistente como el PVC. El material escogido dependerá de que tan pedregoso sea el suelo. Existe además un set estandarizado de diámetros de los discos del infiltrómetro tanto para aquellos de doble anillo como los de anillo único junto con las placas de instalación, el martillo o combo y las varillas de medición, así también uno de los bordes del infiltrómetro se encuentra afilado Para su facilidad de inserción en el suelo. Finalmente es importante que el área elegida para la prueba no sea un lugar por donde pasen vehículos o personas que puedan compactar el terreno a examinar.

- Se colocará el infiltrómetro sobre la superficie del terreno que se someterá a esta prueba, hay que verificar que no hayan piedras o raíces en el sitio del ensayo pues al momento de ubicar los anillos estos objetos pueden dañar su forma o provocar fugas de agua y que ésta escape con facilidad.
- Clavar el disco en el suelo y a la misma profundidad en todo su diámetro, y hay que hacerlo homogéneamente. Se debe clavar el disco a una profundidad de entre 10 y 15 cm evitando en mayor medida el drenaje lateral con ayuda de un combo y una placa o tabla. Si el disco se encuentra instalado de lado o no ha sido ingresado homogéneamente puede presentar mayor riesgo de experimentar fugas de agua.
- Una vez clavado el disco se comprueba que se encuentre en completo equilibrio con el terreno utilizando para esto el nivel de burbuja, una vez comprobado se comienza a llenar con agua muy cuidadosamente. De esta forma se evita que el choque intempestivo del agua sobre el terreno desnudo cauce la desagregación de los terrones del suelo y se saturen los poros.
- El llenado inicial del equipo no debe sobrepasar los 10 cm, y no se debe dejar que el nivel descienda a menos de 5 cm.
- Es aconsejable realizar las medidas a intervalos regulares de tiempo; por lo que se vuelve más fácil discernir el momento en el que la absorción se vuelve constante para esto se utiliza el cronómetro.
- Cuando en el ensayo se llega a una tasa de infiltración constante es preciso seguir con el ensayo hasta tener la seguridad de que el agua si se encuentra movilizándose por el horizonte inmediato inferior, todos estos datos se registran en la bitácora de campo.
- Es necesario que la prueba tenga los suficientes intervalos de medición debido a la naturaleza altamente heterogénea de los suelos y por ciertas falencias que tienen que ver con el método, el personal y las condiciones externas al ensayo; los datos resultantes del ensayo de infiltración

deberán compararse con otras propiedades del suelo obtenidas de las observaciones en el campo y la recolección de información como el uso del suelo, estructura, textura, su porosidad y otros datos que son determinantes para describir el movimiento del agua.

### 2.6.3.2. Determinación de la Conductividad Hidráulica (K)

Para obtener el valor de la conductividad hidráulica del suelo de la extractora luego de haber ensayado la prueba de infiltración bajo las condiciones de saturación se elaborará una tabla de resultados a partir de las medidas obtenidas durante la medición de la velocidad de infiltración. Esta tabla incluirá el número de ensayos en los que se haya medido la lámina de agua en el anillo del infiltrómetro hasta evidenciar que se ha estabilizado la tasa de infiltración.

Debido a que la velocidad de la infiltración es mayor cuando la prueba comienza, los intervalos de tiempo entre lecturas deben ser cortos. Al transcurrir la prueba la velocidad de infiltración disminuye, y los intervalos de tiempo se harán más largos. Con estas parejas de datos se construirá la gráfica Velocidad de infiltración Vs Tiempo, para obtener el valor de la infiltración básica. El terreno junto a las piscinas de oxidación no presenta ninguna intervención de tipo humano a más de la presencia del sistema de depuración antes mencionado, la velocidad de infiltración y la conductividad hidráulica serán determinadas en el sitio de la piscina de oxidación que se encuentra en funcionamiento.

Para construir esta primera gráfica se deben tomar los tiempos y la infiltración acumulados, sumando cada valor instantáneo de tiempo e infiltración de la lámina con el fin de ir obteniendo valores acumulados que representen el avance de la prueba hecha in situ. Con estos valores se construye una gráfica de tipo dispersión de la lámina de infiltración acumulada vs tiempo acumulado, utilizando una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Se reportarán e interpretarán los resultados no sin antes determinar la ecuación de la curva obtenida que tiene la siguiente forma:

$$I = Ct^m$$

**En donde:**

$I$  = es la lámina de infiltración acumulada [mm]

$C$  = es el valor de la intercepción en la ordenada (eje Y)

$m$  = representa la pendiente de la recta formada.

$t$  = tiempo [s]

Luego de obtenida la ecuación es posible a partir de ella calcular la ecuación de la velocidad de infiltración ( $i$ ), para esto se debe derivar con respecto al tiempo, con lo que queda:

$$I = Ct^m$$
$$i = \frac{dl}{dt} = \frac{d(Ct^m)}{dt}$$
$$i = Kt^n$$

Con base en la ecuación anterior, los tiempos acumulados se reemplazan en esta ecuación y se obtienen los valores de la velocidad de infiltración. La velocidad de infiltración vs el tiempo acumulado se grafican y al igual que con la gráfica anterior se reportarán e interpretarán sus resultados. Dentro de la gráfica obtenida existe un valor en el cual la velocidad de infiltración se estabiliza, este valor se conoce como infiltración básica.

$$i_b = Kt_b^n$$

En donde  $i_b$  es la velocidad de infiltración básica y  $t_b$  es el tiempo básico correspondiente el cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$t_b = 10 * (n)$$

La velocidad de infiltración básica ( $i_b$ ) corresponde a la conductividad hidráulica del suelo en el AI de la Extractora, es un valor que debe ser evaluado en cada perfil estratigráfico del subsuelo donde existen parámetros que influirán en este valor, siendo el más importante la porosidad efectiva.

## 2.7. Determinación de la Densidad

La densidad " $\rho$ " de una sustancia se define como la relación entre la masa " $m$ " y el volumen " $V$ " de dicha sustancia. En el análisis de agua, la densidad se mide en  $g/ml$ .

$$\rho = \frac{m}{V}$$

La medición de la densidad se realizará de forma independiente al resto de análisis utilizando para su cálculo el método del picnómetro, y realizado dentro del laboratorio de Análisis Instrumental de la

Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Para medir la densidad de las muestras de agua residual obtenidas de la piscina de oxidación de la extractora PEXA S.A. se procederá de la siguiente forma:

**Equipo Utilizado:**

- Picnómetro de 10ml con tapa esmerilada.
- Termómetro 180°C
- Balanza analítica
- Estufa.

**2.7.1. Método del Picnómetro:**

El interior del picnómetro debe estar totalmente seco, limpio y encerado para lo cual debe lavarse y secarse a 110°C dentro de la estufa. Una vez seco el picnómetro se deja enfriar dentro de un desecador hasta la temperatura ambiente. Se llena el picnómetro con agua destilada hasta la medida marcada se tapa y se pesa, evitando cualquier burbuja de aire en su interior y ninguna gota de agua en las paredes externas, se anota el valor pesado. Se vacía el picnómetro, se lo vuelve a secar, encerar y enfriar. Una vez hecho se lo llena con el agua a ser analizada y evitando burbujas de aire internas y gotas de agua en sus paredes externas se pesa en la balanza y se anota el valor obtenido.

Una vez más se vacía el picnómetro se lo encera y luego que se encuentra a la temperatura ambiente se lo pesa tapado y vacío en la balanza, se anota el valor obtenido. Es necesario determinar con el termómetro las temperaturas del agua destilada y del agua a ser analizada pues dependiendo de la temperatura del agua la densidad varía.

**Cálculo de la densidad.-** La densidad se calcula mediante la fórmula:

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(G_1 - G_c) * (\rho_{H_2O})}{(G_2 - G_c)}$$

**Dónde:**

$G_1$ .- Peso del picnómetro con el agua a ser analizada [g]

$G_2$ .- Peso del picnómetro con el agua destilada [g]

$G_c$ .- Peso del picnómetro vacío y seco incluida su tapa esmerilada [g]

$\rho_{(H_2O)}$ .- Densidad teórica del agua, dependiente de la temperatura [g/ml]

El cálculo de la densidad debe incluir los valores de temperatura del agua que se tomaron in situ y por lo tanto, cuando la densidad se determina a una temperatura ambiental que difiere de los 20°C, el valor de  $\rho_{(H_2O)}$  debe reemplazarse por uno de los valores de densidad del agua para determinadas temperaturas que se encuentran a continuación:

**Tabla N° 2-2:** Densidad del agua líquida a diferente temperatura

Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)
20	0,99829	41	0,99186
21	0,99808	42	0,99146
22	0,99786	43	0,99105
23	0,99762	44	0,99064
24	0,99738	45	0,99022
25	0,99713	46	0,98980
26	0,99686	47	0,98936
27	0,99659	48	0,98892
28	0,99631	49	0,98847
29	0,99602	50	0,98802
30	0,99571	51	0,98756
31	0,99541	52	0,98709
32	0,99509	53	0,98662
33	0,99476	54	0,98614
34	0,99443	55	0,98565
35	0,99408	56	0,98516
36	0,99373	57	0,98466
37	0,99337	58	0,98416
38	0,99300	59	0,98364
39	0,99263	60	0,98313
40	0,99225	61	0,98260

**Realizado por:** Javier Basantes.

**Fuente:** Küster, et al.

## 2.8. Dimensionamiento de la Laguna de Oxidación

El modelo representativo visual con el que se cuenta para el dimensionamiento de la laguna de oxidación de la Extractora PEXA S.A. es el Software AutoCAD 2015, el mismo que cuenta con una interfaz interactiva la cual permitirá el diseño y manejo de las dimensiones reales de la laguna de oxidación y su manipulación en tres dimensiones para poder mostrar, describir, y explicar de forma precisa su tamaño y la cantidad de los sedimentos acumulados dentro de ella.

## **2.9. Modelo de flujo en el Transporte de Aguas Subterráneas**

Sabiendo que un modelo es el conjunto de hipótesis, principios y teoremas utilizados en la descripción simplificada de un fenómeno físico y que el programa o código es el conjunto de sentencias, en un determinado lenguaje de programación que permite el cálculo numérico y la solución del problema. Para el estudio correspondiente al transporte de contaminantes de la piscina de oxidación de PEXA S.A. es necesaria la aplicación de un modelo que describa los fenómenos físico-químicos que influyen dicho transporte y de un código que simplifique los cálculos realizados y represente de forma gráfica estos procesos.

Una vez entregados los resultados del laboratorio de análisis las concentraciones de los contaminantes analizados serán datos de entrada para empezar un modelamiento en base al programa MODFLOW. Este software es un modelo de flujo saturado en diferencias finitas que simula el flujo en tres dimensiones o más precisamente en multicapas.

La estructura de MODFLOW consiste en un programa principal y una serie de rutinas independientes denominadas módulos que realizan funciones muy concretas. Los módulos se agrupan en paquetes cada uno de los cuales trata una característica específica del sistema hidrológico que será simulado.

El flujo de agua subterránea se simula utilizando una aproximación en diferencias finitas centradas en el bloque, esto quiere decir que entre mayor sea la cantidad de parámetros por definir y más ajustado a la realidad sea la construcción del modelo geográfico el programa deberá ejecutar mayor cantidad de interacciones con el consecuente aumento de tiempo destinado al procesamiento de esta información. En MODFLOW las distintas capas o estratos pueden ser simuladas como confinadas, libres, o una combinación de ambas. Posterior a su desarrollo se han añadido paquetes como: ZoneBudget, ModPath y MT3DMS, que permiten realizar modelos en zonas saturadas, transporte de partículas y sustancias contaminantes.

El programa fuente MODFLOW se ha integrado dentro de la interfaz gráfica denominada Visual MODFLOW que es de dominio público y puede ser descargado de forma gratuita de varias agencias oficiales estadounidenses como el Servicio Geológico de USA (USGS) y la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA). El informe preparado por sus autores (M.G. Macdonald and A.W. Harbaugh) describe la base del modelo y su desarrollo, algunos de estos apuntes serán detallados porque formarán parte de la metodología de diseño de la pluma contaminante.

### 2.9.1. Modelo Matemático de MODFLOW

Un flujo de agua con densidad constante en un medio poroso en tres dimensiones en base a la ley de Darcy se describe en la siguiente ecuación: (CRUCES DE ABIA. 2007)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

**En donde:**

$x, y, z$  = coordenadas cartesianas dentro de la conductividad hidráulica  $K$ .

$h$  = el potencial hidráulico por unidad de peso expresado en metros.

$W$  = volumen de agua inyectado o extraído por unidad de volumen en el acuífero en el punto  $(x, y, z)$ .

$S_s$  = coeficiente de almacenamiento específico del medio ( $L^{-1}$ )

$t$  = Tiempo

Los términos  $S_s, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$ , pueden ser funciones del espacio y tiempo:  $(x, y, z, t)$ , por tanto la ecuación describe el flujo en saturación en un área porosa heterogénea. Esta ecuación junto a condiciones iniciales y de bordes constituye el modelo matemático del flujo subterráneo para MODFLOW. (CRUCES DE ABIA. 2007)

**Ecuación de Diferencias Finitas dentro de MODFLOW:**

La ecuación de flujo en diferencias finitas dentro del código de MODFLOW se consigue al aplicar la ecuación de continuidad a una celda (la celda es la forma que un parámetro toma al ser definidas sus propiedades en Visual MODFLOW) suponiendo que los flujos que entran y salen son iguales al cambio de almacenamiento y la densidad se mantiene constante:

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V$$

**En donde:**

$Q_i$  = Caudal que ingresa a la celda por una cara ( $L^3T^{-1}$ )

$S_s$  = Coeficiente de almacenamiento ( $L^{-1}$ )

$\Delta V$  = Volumen de la celda ( $L^3$ )

$\Delta h$  = variación del potencial por intervalo de tiempo ( $\Delta t$ )

En un principio MODFLOW incorporó métodos numéricos para la resolución de estas ecuaciones y hoy está organizado para incorporar nuevos métodos de resolución sin que esto perturbe la organización inicial del programa. Las ecuación anterior se encuentra en su forma más simple de expresión dentro del programa, pero siendo que las celdas tienen tres pares de caras ( $i, j, k$ ); la ecuación se modifica dependiendo de la celda a ser evaluada y las celdas contiguas a ésta.

Parecería un trabajo muy arduo el tener que asociar propiedades iniciales en cada celda, pero no se necesita formular una ecuación diferente para cada celda de la malla de trabajo porque todas las celdas tienen establecidas condiciones de antemano, como celdas inactivas, de potencial constante o sin flujo. Las demás celdas se pueden modificar a condiciones de flujo que puede variar a lo largo de la simulación y su sistema de ecuaciones asociadas será resuelta por el programa de forma simultánea para cada instante de tiempo que se desee evaluar.

En un principio el servicio Geológico de los Estados Unidos desarrolló este programa para simular flujos del agua subterránea, pero este software era de uso restringido. Hoy en día es uno de los modelos más extendidos para estudios de flujo subterráneo, transporte y destino de sustancias en el subsuelo pese a que se encuentra solo en idioma Inglés. (CRUCES DE ABIA. 2007)

### **2.9.2. Aplicación del Modelo Visual MODFLOW 2011.1**

Visual Modflow que es la interfaz gráfica de MODFLOW tiene un menú que permite importar y exportar los resultados del proceso de ejecución del código entre otras ventajas. Al abrir Visual MODFLOW aparece una ventana que pregunta si se desea empezar un nuevo proyecto o abrir uno ya existente. Se seleccionará la opción nuevo proyecto para empezar el ingreso de los datos.

Luego aparecerán varias ventanas en las que se seleccionará datos iniciales como la dimensión de las celdas, cantidad de capas o estratos, la ubicación X, Y y Z del área de trabajo, la elevación o cotas inicial y final del lugar. Una vez ingresados los datos requeridos Visual MODFLOW diseña una grilla con las dimensiones ingresadas y que puede ser visualizada en tres cortes, la vista planta o superior, la vista del perfil vertical, y un corte transversal del modelo. A continuación ya se puede ingresar objetos

y darles propiedades para la simulación requerida. También se pueden importar datos desde otros programas como los archivos Shape ArcGIS lo cual enmarca al modelo que se quiere construir dentro de coordenadas y condiciones reales que se presentan en el área de estudio.

Si se desea importar estos archivos hay que tener en cuenta que los procesos de resolución del programa se vuelven más lentos, así que lo más fácil es ubicar las coordenadas de la extractora en un archivo Excel e importarlas en ese formato, de tal manera que la ejecución de Visual MODFLOW será algo más rápida que al importar datos desde ArcGIS.

### **2.9.3. El uso del módulo MT3DMS**

Dentro de Visual MODFLOW el transporte de sustancias arrastradas por el flujo en ambientes subterráneos de sistemas multicapas en fases agua-suelo requiere del uso de un modelo de ordenador que simule este transporte en múltiples condiciones ambientales.

MODFLOW integra paquetes de módulos complementarios cuya función es complementar condiciones en un sistema hidrológico a fin de volverlo lo más real posible. Uno de estos módulos es el Modular 3-Dimensional Transport Model Multi-Species (MT3DMS), creado en 1990 actualizado y desarrollado con el apoyo de la EPA en 1998.

Es un módulo de distribución gratuita y cuyo código de programación aplica procesos de transporte de sustancias contaminantes tomando en cuenta sus reacciones químicas y que es algo que las versiones anteriores del modelo no tomaban en cuenta.

La interacción de los programas requeridos será la siguiente: Primero actuará el modelo de flujo (MODFLOW) para establecer la estructura tridimensional del flujo subterráneo y su evolución temporal. Una vez conocido el flujo el modelo de transporte (MT3DMS) efectuará sus propios cálculos y finalmente el visualizador o interfaz Visual MODFLOW mostrará los resultados en pantalla siempre dentro de las condiciones geológicas y georreferenciadas del Área de influencia de la Extractora PEXA S.A. Los resultados del modelo generado son exportados para su análisis posterior una vez que se hayan guardado los cambios y se haya ejecutado la opción RUN dentro del MAIN MENU de Visual MODFLOW con un porcentaje de discrepancia o incertidumbre mínimo que es propio de los modelos de simulación.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Ubicación y Contexto de la Extractora de Aceite de Palma PEXA S.A.

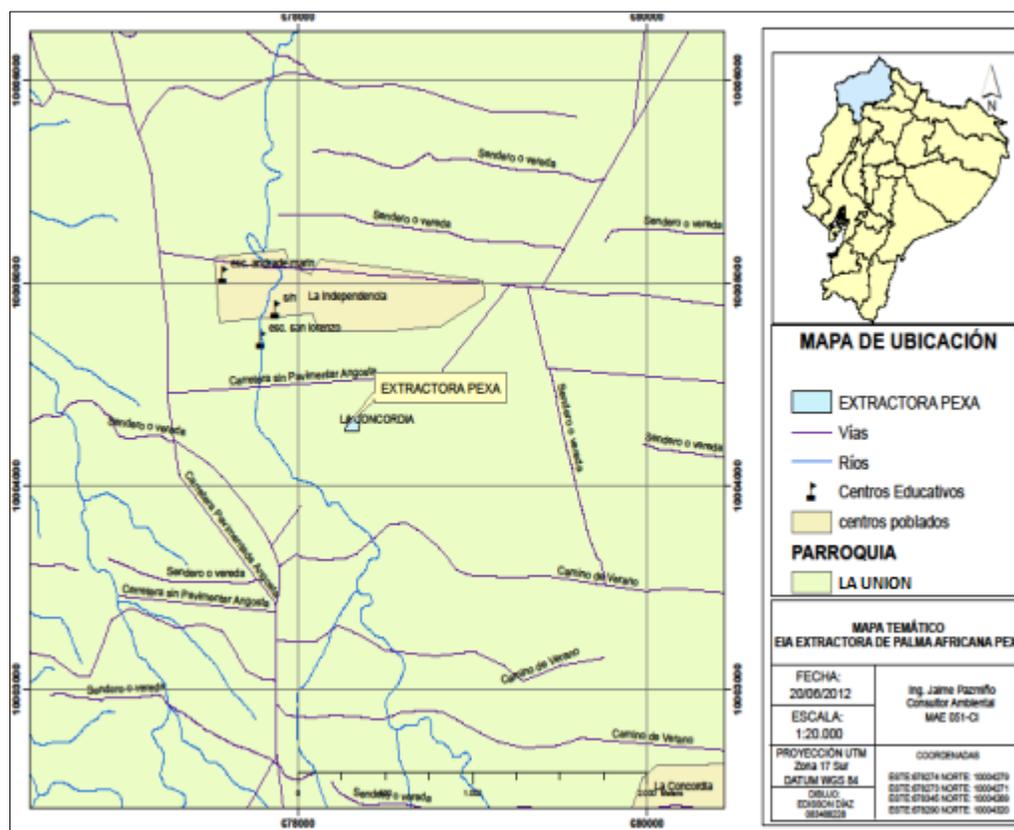
##### 3.1.1. Ubicación Geográfica y Reseña

La Extractora **PEXA S.A.** es una industria extractora de aceite rojo del fruto de la palma aceitera, está ubicada en el Km 47 Vía Santo Domingo - Quinindé, perteneciente al Cantón Quinindé, Provincia de Esmeraldas. Viene funcionando con esta razón social desde la fecha de su construcción en 1990 en el sector de La Independencia, y en las coordenadas UTM: X= 678332 Y= 10004244.

La Extractora de aceite rojo de palma PEXA S.A. se encuentra en una zona de fácil acceso hacia las vías principales y secundarias del sector. La vía principal Transversal Norte (E20) que atraviesa las provincias de Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Pichincha, Napo, y Orellana es la carretera que conecta la extractora con los centros poblados cercanos. Esta vía toma rumbo sureste, desde la capital Esmeraldas y cruza la cordillera de Chongón y Colonche, pasando por Quinindé y La Concordia alcanza la ciudad de Santo Domingo en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. En Santo Domingo, conecta con la Troncal de la Costa (E25) y con la vía colectora Santo Domingo - Y de Charapoto (E38). El centro poblado más cercano a PEXA S.A. es el recinto La Independencia que está ubicado a 2Km. De la Extractora.

En el año 1947 dio inicio la construcción del carretero de Santo Domingo hasta el sitio que une los ríos El Blanco y Quinindé, y donde hoy en día se encuentra la ciudad de Quinindé, el cual es concluido en el año de 1949. En el mismo año se inicia la construcción de la carretera Quinindé-Esmeraldas y para 1958 el Municipio de Quito pone en servicio el primer Dispensario Médico en el recinto La Unión. Estas obras permiten que en la década del 50-60 se dé comienzo a la formación de las poblaciones de La Unión, El Consuelo y La Concordia; esta última nació como producto de la migración de colonos de Loja y Manabí, que por las sequías de 1960-1962 de estas provincias familias enteras llegaron a poblar las zonas entre La Unión y Santo Domingo.

**Mapa N° 3-1:** Ubicación de la Extractora de Aceite de palma PEXA S.A.



Fuente: Cartografía del Ing. Jaime Pazmiño Consultor Ambiental

### 3.1.2. Distribución física de la Extractora

Las coordenadas UTM WGS 84 tomadas el mismo día de muestreo del área de Estudio se describen a continuación, se detallan las coordenadas de ubicación de las diferentes instalaciones de la Extractora, las coordenadas UTM, bajo el datum WGS 84 zona 17S son las siguientes:

**Tabla N° 3-1:** Coordenadas de localización de la Extractora PEXA S.A.

INSTALACIÓN	COORDENADA X	COORDENADA Y
Acceso y Estacionamiento	678274	10004279
Oficinas y Administración	678273	10004271
Cocina y comedor	678280	10004258
Nave industrial de extracción	678332	10004321
Bodega de insumos	678294	10004288
Piscinas de Oxidación	678361	10004372
Área de mantenimiento y Taller	678345	10004269

**Tabla N° 3-1:** Continuación

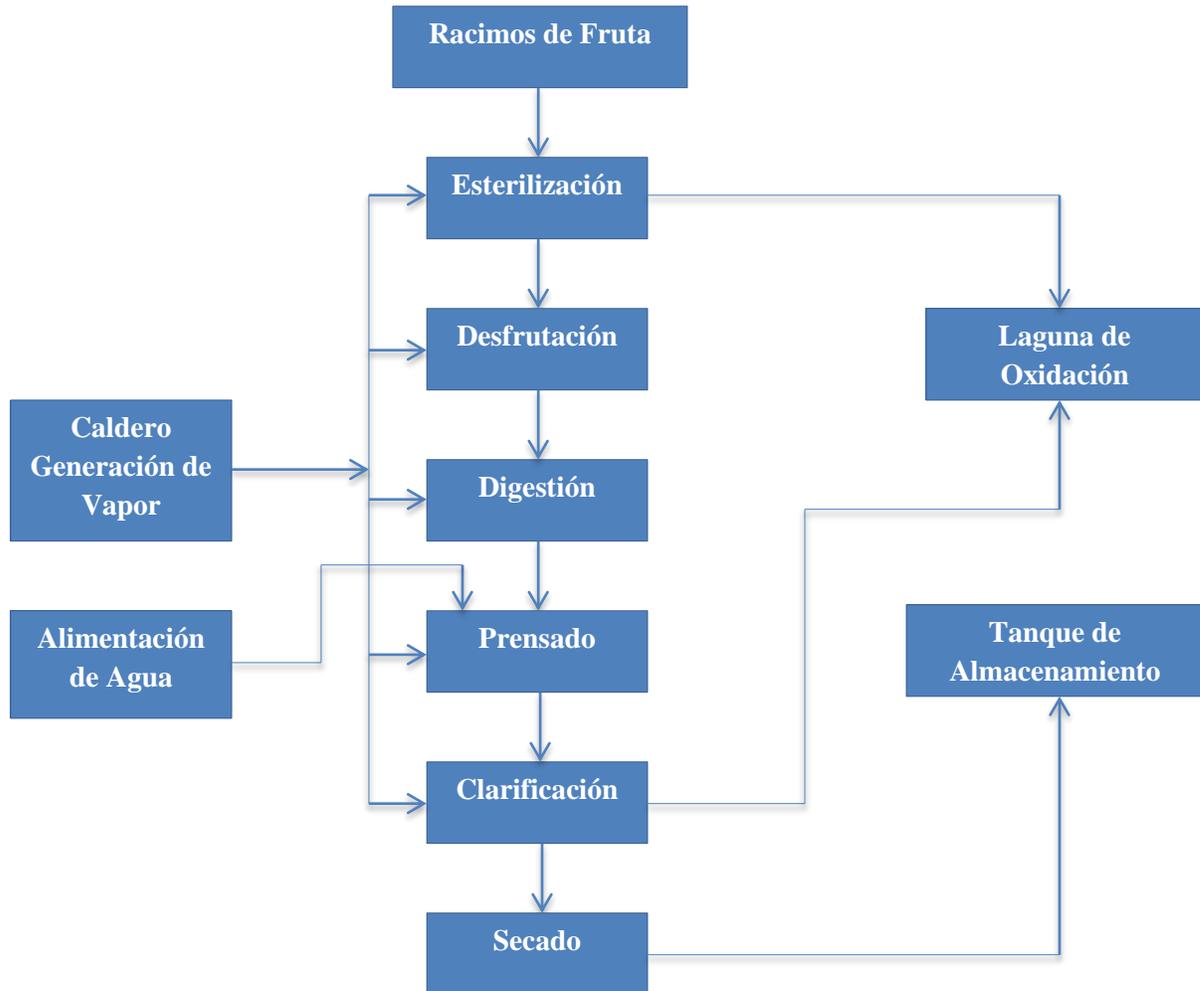
Jefatura de producción y laboratorio	678282	10004282
Área de Generadores	678290	10004320
Patio de descarga de fruta	678319	10004291

Realizado por: Javier Basantes

### 3.2. Procesos Realizados en la Extractora de Aceite de Palma PEXA S.A.

La producción del aceite de palma africana es un proceso que consiste en la extracción mecánica por mecanismos físicos que involucran procesos de: esterilización, prensado, decantación y almacenamiento temporal en tanques de 500 toneladas.

**Figura N° 3-1:** Diagrama del proceso de Extracción del aceite en la extractora PEXA S.A.



Realizado por: Javier Basantes

**Tabla N° 3-2:** Coordenadas de Ubicación de los equipos de la Extractora.

IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR	COORDENADAS UTM	
	ESTE	NORTE
Báscula	678279	10004289
Patio de Fruta	678319	10004291
Área de Esterilizadores	678332	10004321
Prensas	678355	10004283
Digestores	678355	10004283
Florentinos	678329	10004335
Calderos	678368	10004282
Generador	678290	10004320

Realizado por: Javier Basantes

### 3.2.1. Recepción de los Racimos

Los frutos de palma que ingresan a la Extractora son pesados, disponiéndose de una báscula de 10m x 3m, (30m<sup>2</sup>) con una capacidad de 80 Ton. Allí se registra la entrada de la materia prima y su peso gracias al software instalado en el sistema digital de la extractora el cual administra los ingresos y egresos de la materia prima y desechos almacenando esta información. Los racimos con los frutos son descargados de forma manual en un patio de cemento de 470 m<sup>2</sup> con una capacidad de 780 Ton.

**Imagen N° 3-1:** Patio de Recepción de los racimos



Fuente: Extractora PEXA S.A.

### 3.2.2. La Esterilización

Cuando los frutos de la palma alcanzan una madurez óptima éstos comienzan a experimentar un proceso de descomposición de su aceite acelerando la formación de ácidos grasos libres. Este proceso es llamado acidificación y se propaga mucho más luego que los racimos de la palma han sido cortados. El proceso de esterilización tiene como finalidad el facilitar la extracción del aceite deteniendo con esto

el proceso de acidificación y acelerando el proceso natural de desprendimiento de los frutos. Actualmente, la esterilización se efectúa en esterilizadores cilíndricos horizontales llamados comúnmente autoclaves.

**Imagen N° 3-2:** Esterilizadores horizontales de PEXA S.A.



**Fuente:** Extractora PEXA S.A.

PEXA S.A. cuenta con cuatro esterilizadores horizontales con una capacidad aproximada de 4.5 toneladas, dos de un tamaño de 14 metros de largo por 1,7 metros de diámetro y dos de 10 m de largo y 1.7 de diámetro. El consumo de vapor no es el mismo durante la etapa de esterilización, la cantidad requerida en la esterilización varía alrededor de los 180Kg por cada tonelada de racimos y se destacan los tres límites de expansión cuando se incrementa la presión y por tanto aumenta el consumo de vapor. Al inicio del proceso el esterilizador y el contenido de frutos están fríos, esto causa bastante condensación y por lo que se necesita un consumo elevado de vapor dentro de la primera fase de la esterilización; no así en las dos etapas posteriores.

### **3.2.3. El Proceso de Desfrutación**

Luego de concluir el proceso de esterilización este es el segundo proceso al cual son sometidos los racimos de palma, La desfrutación tiene como objetivo la separación de los racimos esterilizados en frutos sueltos y raquis (los racimos vacíos). Los frutos separados pasan a la siguiente etapa del proceso, mientras que el raquis es llevado a través de una banda y recolectado en volquetas para ser aplicados luego en el campo, como una especie de cobertura vegetal.

El equipo de desfrutado está constituido por un tambor en forma de jaula que gira sobre un eje central, con una capacidad de 12Tn, un diámetro de 2.45m y una longitud de 5.6m el cilindro está formado por

un conjunto de tubos metálicos colocados en todo el diámetro y sujetos a perfiles planos con forma de canaletas ajustados radialmente en toda la longitud del equipo.

**Imagen N° 3-3:** Cilindro empleado en el proceso de desfrutación



**Fuente:** Extractora PEXA S.A.

La velocidad de giro del tambor es ajustable y depende de qué tan grandes sean los racimos, por lo que entre más grandes sean el tambor girará a mayor velocidad; y si son pequeños éste lo hará a velocidades promedio o bajas de preferencia.

#### **3.2.4. El Proceso de Digestión**

Después de que los racimos han pasado la desfrutación, los frutos ya desprendidos del raquis son recalentados y la pulpa es desprendida de las nueces o semillas y macerada quedando lista para la extracción por prensado.

La pulpa de los frutos de la palma Africana, también llamada mesocarpio, tiene un espesor que varía entre 4 y 8 mm de acuerdo con la variedad de fruto; posee una corteza externa que la cubre y está conformada por un gran número de celdas minúsculas. Estas celdas son de forma irregular, contienen aceite y están pegadas entre sí, por medio de una membrana de almidón blanquecino y un esqueleto de fibras duras. Este almidón es soluble en agua muy caliente (95-100°C) y por lo tanto, los digestores pueden separar los grupos de celdas con aceite y el material fibroso en la medida en la que el almidón se disuelva a estas altas temperaturas. El aceite calentado en el digestor reduce su viscosidad y así se facilita su extracción dentro del proceso de prensado.

Esta etapa es la digestión y se realiza en recipientes cilíndricos verticales provistos de un eje central con brazos que facilitan la maceración de los frutos. La planta extractora PEXA S.A. dispone de tres digestores con capacidad de 4 toneladas cada uno. Los frutos dentro del digestor se encuentran a una temperatura cercana a los 95°C. Temperaturas mayores a los 95°C no se deben aplicar ya que el líquido se acerca al punto de evaporación del agua, y en estas condiciones se crean burbujas de vapor que provocan que el aceite sea empujado hacia arriba impidiendo su paso al siguiente proceso.

**Imagen N° 3-4:** Equipo de digestores de la Extractora PEXA S.A.



Fuente: Extractora PEXA S.A.

### 3.2.5. Proceso de Prensado

Con la etapa de prensado se busca la separación y extracción de la fase líquida de la masa de frutos que al abandonar el digestor está formada por agua, aceite originario de la pulpa de la palma y por sólidos que abandonaron el proceso anterior y permanecen suspendidos en el agua.

Este proceso se efectúa en prensas de tornillos sinfín, equipo compuesto por un cajón con perforaciones de orientación horizontal con forma cilíndrica doble y por un par de tornillos sinfín. Los frutos que pasaron por la digestión ahora son prensados dentro de este cajón por la acción giratoria de los tornillos que al girar lo hacen en direcciones opuestas.

Se facilita la salida del aceite del proceso de prensado, agregándole agua caliente. La Planta Extractora PEXA S.A. posee una prensa con una capacidad de 12 toneladas por cada hora.

**Imagen N° 3-5:** Prensa utilizada en PEXA S.A.



Fuente: Extractora PEXA S.A.

### **3.2.6. Proceso de Clarificación**

El proceso por medio del cual el aceite evacuado del tratamiento en las prensas es luego separado y purificado de la mezcla líquida previa se denomina clarificación. Se logra esta separación, conociendo y aprovechando la poca afinidad entre el agua y el aceite para mezclarse.

La clarificación es una etapa dividida en dos partes:

- Clarificación de tipo estática: en la cual la mezcla líquida se separa por decantación lográndose por lo general separar el 90% del aceite.
- Clarificación dinámica: En la cual la mezcla líquida se separa por centrifugación lo cual requiere el uso de una centrífuga de lodos a fin de separar, una vez más la mezcla llegando a una recuperación del 10% de aceite que ingresa al comienzo de la etapa.

El aceite que abandona el prensado llega hasta el equipo de clarificación, se trata de un clarificador continuo de 24m<sup>3</sup> de capacidad, que posee un ciclón de alimentación que disipa la presión que posee la mezcla al momento de dejar el prensado mediante bombeo, el ciclón atenúa la turbulencia dentro del equipo y que las capas separadas se vuelvan a mezclar.

**Imagen N° 3-6:** Clarificador continuo utilizado en PEXA S.A.



Fuente: Extractora PEXA S.A.

### 3.2.7. Clarificación Dinámica

Este es un subproceso de la clarificación estática descrita anteriormente, solo que la separación aquí ocurre con una velocidad mucho mayor, mediante fuerzas centrífugas. El agua y los lodos pesados salen por las boquillas y toberas hacia los sistemas de descargas de efluentes, mientras que el aceite y los lodos livianos se concentran en el centro y son recuperados por una tubería colectora.

**Imagen N° 3-7:** Centrífuga de lodos de PEXA S.A.



Fuente: Extractora PEXA S.A.

### **3.3. Diagnóstico Ambiental**

#### **3.3.1. Determinación del área de influencia (AI) de la extractora PEXA S.A.**

En base a un recorrido realizado por el sector cercano a la Extractora y se constató el nivel de influencia que las actividades productivas de PEXA S.A. tienen sobre la población cercana de La Independencia. Y luego del recorrido y revisión documental se resolvió definir el Área de influencia directa (AID), y el Área de influencia Indirecta (AII) dentro de los límites espaciales en que siguen.

#### **3.3.2. Área de Influencia directa (AID)**

Para la descripción de la contaminación que se disipa del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Extractora, se ha considerado un área de influencia directa (AID) comprendida dentro de un radio de 100m a partir de la coordenada límite de funcionamiento de la Extractora que corresponde a su entrada y estacionamiento, tomando en cuenta que la repercusión de las actividades llevadas a cabo durante la operación de la Extractora, puedan generar posibles cambios sobre el entorno físico y biótico circundante, cuerpos de agua superficial, aguas subterráneas, suelo, aire, flora y fauna.

El margen del Río Cocola donde se depositan los efluentes líquidos procedentes del sistema de tratamiento de las aguas residuales de la Planta de Extracción se considera dentro del área de influencia directa de la Planta Industrial pese a que se encuentra a 450m de su ubicación. El entorno biológico es un área con una extensión aproximada de 50000 m<sup>2</sup> constituido en su mayoría por cultivos de palma africana, por lo que las operaciones de la Extractora no afectan directamente este entorno y por tanto no se ve afectado directamente por las operaciones de la Planta Industrial.

#### **3.3.3. Área de Influencia indirecta (AII)**

Se ha considerado el área de influencia indirecta la extensión de 1.5Km del lecho del Río Cocola. Se justifica esto debido a que las descargas que la Extractora deposita en el río viajan aguas abajo esta distancia antes de ingresar en el entorno de otros proyectos agrícolas y productivos.

El AII ocupa también el entorno socio-económico, para esto se consideró a aquella área de asentamiento urbano más cercano donde desarrolla sus actividades la Extractora y cuya sociedad experimenta los cambios o efectos que ocurren como producto de la extracción del aceite de palma.

Por tanto el AII abarca también el centro poblado La Independencia y el casco urbano de la ciudad de La Concordia, por la cercanía que tienen con la extractora y la afectación a las condiciones físicas del agua, del suelo, su uso y la calidad del aire que pudiera causar sus actividades de operación además de la generación de empleo en las actividades de operación y mantenimiento de la Extractora PEXA S.A.

### **3.4. Línea Base del Área de Influencia del Proyecto**

Una vez determinados los dos tipos de Áreas de influencia; directa que corresponde un área de 100m a la redonda del emplazamiento total de la Extractora y que es donde son apreciable los efectos ambientales ocasionados por las actividades de mantenimiento y producción que se practican. Y el Área de Influencia Indirecta que corresponde a la zona de asentamientos poblacionales cercanos a la Extractora y cuyas actividades y recursos son influenciados por la presencia de esta industria Extractora.

La descripción de los componentes en el área de influencia directa e indirecta de la Extractora de Palma Aceitera PEXA S.A. son detallados continuación.

#### **3.4.1. Componente Físico**

##### **3.4.1.1. Climatología**

El clima es un parámetro medible y cuantificable que abarca varios componentes que interactúan en conjunto determinando las características de un sector determinado, tiene que ver con el estado medio de las condiciones atmosféricas, medidas en una zona determinada.

Para la caracterización climática de la zona del proyecto, se recurrió a la revisión del Anuario Meteorológico 2010 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), de la estación Meteorológica La Concordia (Cód. M025) ubicada en la Provincia de Esmeraldas, con una ubicación geográfica: 0°01'29"N y 79°22'49"W y ubicada a 379 m.s.n.m. Durante este intervalo de tiempo, se consideraron las variables de temperatura, heliofanía, precipitación, humedad relativa, evapotranspiración y viento.

**Tabla N° 3-3:** Heliofanía, Temperatura y Humedad de la Zona de Estudio.

M025		LA CONCORDIA							INAMHI				
Mes	Heliofanía (Horas)	Temperatura del aire a la sombra (°C)							Humedad Relativa (%)				
		Absolutas				Medias			Máxima	Día	Mínima	Día	Media
Máxima	Día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	Día					
Enero	59.5	33.0	6	18.5	5	29.3	19.6	24.9	99	20	61	6	88
Febrero	61.5	33.0	25	18.5	17	30.0	20.0	25.3	99	2	64	8	88
Marzo	80.3	33.0	5	-	-	30.6	21.6	25.8	99	17	63	14	87
Abril	126.4	33.0	4	-	-	30.7	-	25.9	99	6	49	30	87
Mayo	70.5	32.7	9	-	-	29.7	-	25.4	100	19	65	31	89
Junio	39.6	31.5	15	-	-	27.6	21.8	24.1	99	1	71	5	89
Julio	46.5	31.0	28	19.8	28	27.6	21.6	23.8	99	1	60	28	89
Agosto	63.5	32.5	11	19.4	13	27.7	21.1	23.6	99	26	58	11	87
Septiembre	45.0	31.5	26	20.0	30	27.6	21.0	23.5	99	10	66	10	88
Octubre	43.5	31.5	26	18.8	31	27.5	20.4	23.2	-	-	-	-	88
Noviembre	27.7	29.2	20	19.0	3	26.8	20.2	22.8	100	1	65	8	88
Diciembre	33.8	29.1	19	19.0	3	27.2	20.6	23.3	99	5	57	18	89
<b>Valor anual</b>	<b>697.9</b>	<b>33.0</b>				<b>28.5</b>		<b>24.3</b>					<b>88</b>

Realizado por: Javier Basantes.

Fuente: Anuario Metrológico INAMHI 2010.

**Tabla N° 3-4:** Punto de Rocío, Tensión de vapor y Precipitación de la Zona de Estudio.

M025		LA CONCORDIA					INAMHI	
Mes	Punto de Rocío (C°)	Tensión de Vapor (hPa)	Precipitación (mm)			Número de Días con Precipitación		
			Suma Mensual	Máxima 24hrs	día			
Enero	22.6	27.5	365.7	53.3	20	26		
Febrero	23.2	28.4	605.7	115.8	11	25		
Marzo	23.3	28.6	661.6	88.3	25	29		
Abril	23.3	28.7	687.9	94.5	5	25		
Mayo	23.3	28.6	449.9	146.8	9	21		
Junio	22.0	26.5	60.4	11.0	8	20		
Julio	21.8	26.1	87.7	25.5	5	22		
Agosto	21.2	25.2	72.2	52.2	31	14		
Septiembre	21.2	25.3	45.2	11.3	3	16		
Octubre	20.9	24.5	13.2	4.6	15	14		
Noviembre	20.8	24.5	99.4	46.3	11	16		
Diciembre	21.3	25.3	405.4	53.9	27	29		
<b>Valor anual</b>	<b>22.1</b>	<b>26.6</b>	<b>3554.3</b>	<b>146.8</b>				

Realizado por: Javier Basantes.

Fuente: Anuario Metrológico INAMHI 2010.

**Tabla N° 3-5:** Evaporación, Velocidad y Frecuencia del Viento de la Zona de Estudio.

M025		LA CONCORDIA						INAMHI								
Mes	Evaporación (mm)			Nubosidad Media (Octas)	Velocidad Media y Frecuencias de Viento											
	Suma Mensual	Máxima 24hrs	día		N (m/s) %	NE (m/s) %	E (m/s) %	SE (m/s) %	S (m/s) %	SW (m/s) %						
Enero	64.0	4.1	6		3.0	5	1.0	1	1.0	1	2.8	11	2.7	34	2.3	11
Febrero	62.0	4.7	25		2.3	10	3.8	5	3.3	4	1.0	4	2.8	39	3.3	5
Marzo	83.6	4.4	23		3.4	5	1.0	1	3.0	3	1.8	12	3.5	32	3.6	13

**Tabla N° 3-5: Continuación**

Abril	73.3	3.9	21	3.6	6	2.3	3	1.5	4	2.3	11	3.4	26	3.0	8
Mayo	64.5	3.6	4	4.0	4	0.0	0	2.5	2	2.3	3	2.4	33	3.3	10
Junio	54.3	3.9	25	3.0	4	0.0	0	2.0	1	0.0	0	3.1	56	2.5	7
Julio	58.7	4.5	29	3.0	4	0.0	0	2.5	2	3.3	4	3.0	41	2.7	10
Agosto	66.2	4.8	11	1.0	2	2.0	1	2.5	2	2.5	4	3.0	47	4.7	7
Septiembre	65.9	4.5	25	2.0	2	0.0	0	3.0	2	2.9	9	2.9	50	2.3	3
Octubre	66.3	4.2	3	1.7	3	0.0	0	2.0	2	2.5	2	2.5	37	3.0	8
Noviembre	53.0	4.6	13	1.3	7	0.0	0	1.8	4	2.8	6	2.0	32	1.7	12
Diciembre	48.5	3.5	19	2.4	11	2.0	2	2.0	1	2.0	2	2.4	33	2.3	8
<b>Valor anual</b>	<b>760.3</b>	<b>4.8</b>		<b>2.6</b>	<b>5</b>	<b>1.0</b>	<b>1</b>	<b>2.3</b>	<b>2</b>	<b>2.2</b>	<b>6</b>	<b>2.8</b>	<b>38</b>	<b>2.9</b>	<b>9</b>

Realizado por: Javier Basantes.

Fuente: Anuario Metrológico INAMHI 2010.

**Tabla N° 3-5: Continuación**

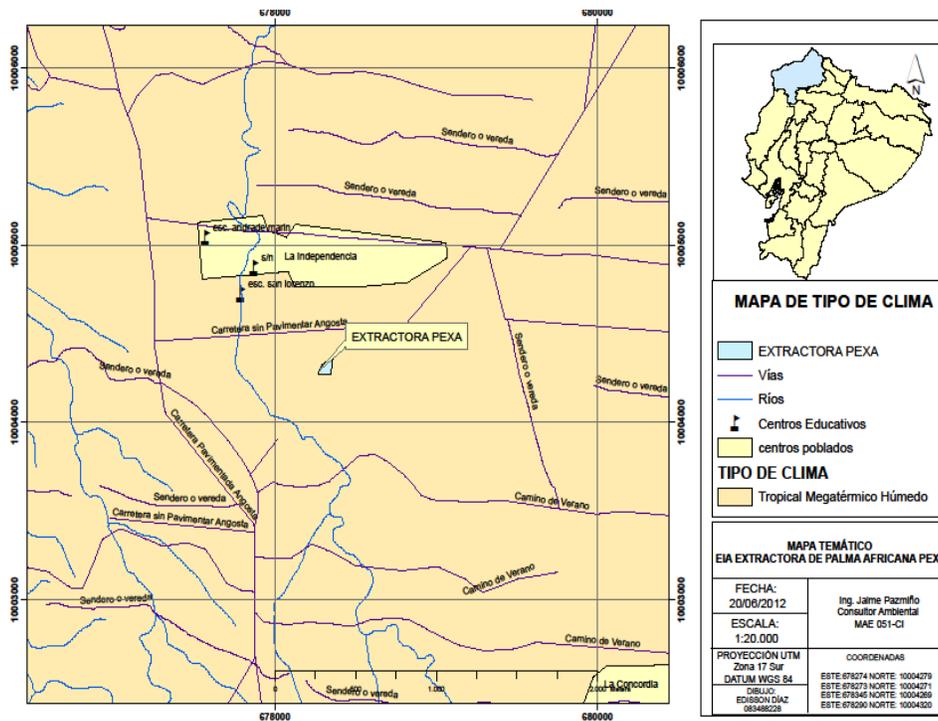
M025	LA CONCORDIA						INAMHI		
	Mes	Velocidad Media y Frecuencias de Viento				Vel. Mayor Observada		Velocidad Media	
		W (m/s)	%	NW (m/s)	%	Calma %	N° OBS	(m/s)	Dirección
Enero	1.7	8	1.8	8	25	93	6.0	S	1.0
Febrero	3.4	8	3.3	8	23	84	6.0	S	1.1
Marzo	2.5	4	4.0	4	27	93	8.0	S	1.3
Abril	2.4	9	2.0	9	29	90	6.0	N	1.3
Mayo	2.0	9	0.0	9	39	93	8.0	N	0.9
Junio	5.0	2	5.0	2	28	90	6.0	NW	1.1
Julio	2.5	4	3.7	4	31	93	6.0	NW	1.0
Agosto	3.0	3	2.0	3	32	93	6.0	S	1.2
Septiembre	2.0	1	2.3	1	29	90	8.0	S	1.0
Octubre	3.5	9	2.3	9	37	93	6.0	S	1.1
Noviembre	1.6	8	4.0	8	29	90	6.0	SE	1.1
Diciembre	1.5	11	2.2	11	26	93	6.0	SW	1.2
<b>Valor anual</b>	<b>2.6</b>	<b>6</b>	<b>2.7</b>	<b>6</b>	<b>30</b>		<b>8.0</b>	<b>S</b>	<b>1.0</b>

Realizado por: Javier Basantes.

Fuente: Anuario Metrológico INAMHI 2010.

En el Ecuador la zona costera, presenta características de clima tropical, húmedo existiendo subclasificaciones para regiones más pequeñas, el clima que presenta la costa ecuatoriana, está influenciada por los cambios que ocurren en el océano Pacífico y por el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). El clima en la zona de la Extractora presenta dos épocas bien definidas y con diferentes características. La época de lluvias normales es entre los meses de enero hasta mediados de mayo y la época que no se presentan lluvias entre Junio y Diciembre.

**Mapa N° 3-2:** Tipo de Clima en el área de la Extractora PEXA S.A.



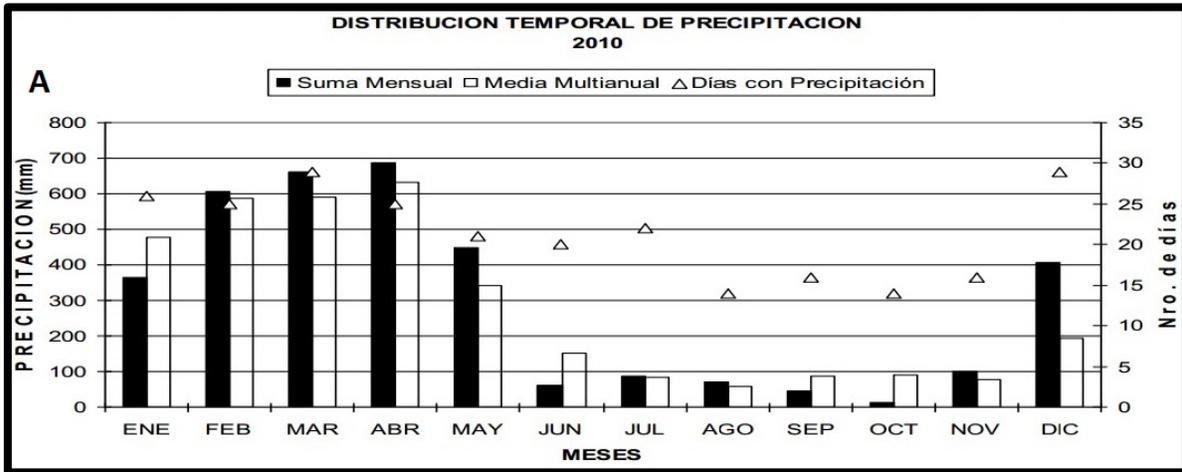
**Fuente:** Cartografía del Ing. Jaime Pazmiño Consultor Ambiental

**Precipitación:** La precipitación pluriannual es de 3554.3mm, siendo los meses más lluviosos abril con 687.9mm de precipitación promedio y marzo con 661.6mm de precipitación promedio, mientras que los menos lluviosos son octubre con 13.2mm de precipitación promedio y septiembre con 45.2mm de precipitación promedio, (Ver Figura N° 3.2.A).

**Temperatura:** Las Temperaturas máximas medias del sector ocurren entre los meses de febrero a abril oscilando alrededor de los 30°C, siendo abril el mes más cálido con 30.7°C. Las mínimas temperaturas medias se registran en general entre agosto y principios de enero con valores mínimos de 19.6°C en enero y 20.2°C en el mes de noviembre. (Ver Figura N° 3.2.B).

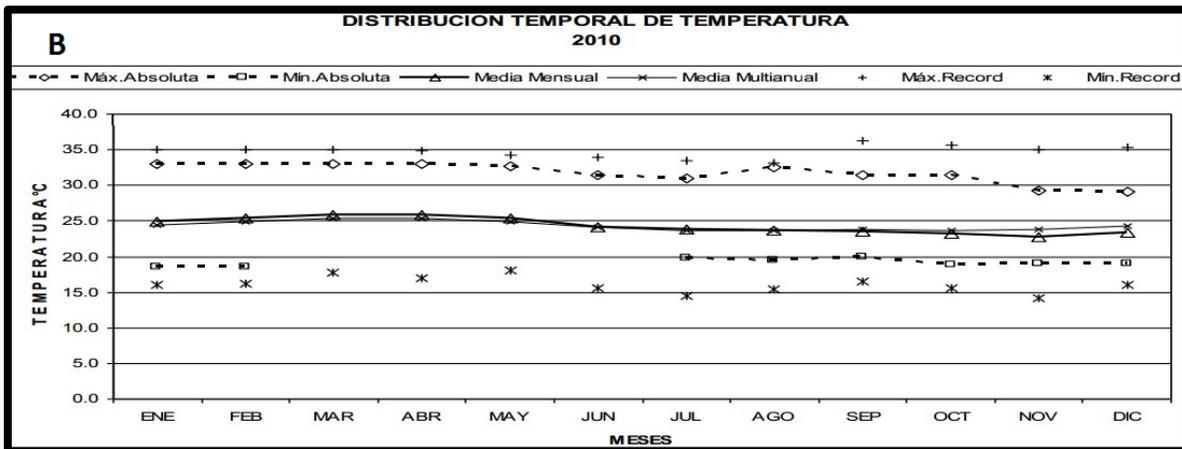
**Viento:** Las mediciones en la estación meteorológica La Concordia, ubicada a 379m sobre el nivel del mar, indican que los vientos predominantes durante casi todo el año son en dirección Sur, a una intensidad promedio de 6 m/s a 8m/s (Tabla N° 3.5). Las mayores velocidades se presentan durante los meses de junio a diciembre. Velocidades de vientos mayores, no son comunes, sin embargo en épocas de El Niño pueden encontrarse valores mayores.

Figura N° 3-2: A) Distribuciones temporales de Precipitación de la zona de estudio.



Fuente: Anuario Metrológico INAMHI 2010.

Figura N° 3-2: B) Distribuciones temporales de Temperatura de la zona de estudio.

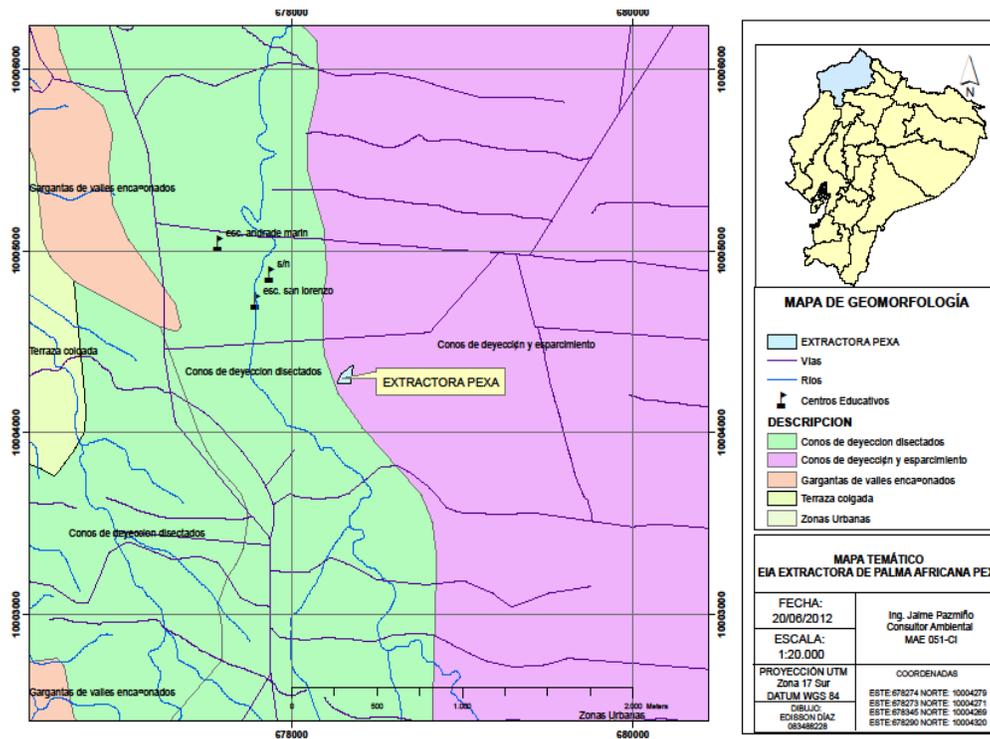


Fuente: Anuario Metrológico INAMHI 2010.

### 3.4.1.2. Geomorfología y Geología

Los materiales encontrados en el área de estudio han sido caracterizados de acuerdo a su naturaleza y origen, a su disposición espacial, a partir de las observaciones en el terreno, análisis de trabajos anteriores en la zona y de los resultados de los ensayos de campo.

**Mapa N° 3-3:** Geomorfología circundante de la Extractora PEXA S.A.



**Fuente:** Cartografía del Ingeniero Jaime Pazmiño Consultor Ambiental

En el área de influencia entre La Unión y La Concordia se han desarrollado suelos negros, pseudo limosos en la parte superior y oscuro o amarillo en profundidad, cercano al cauce de los ríos se puede encontrar rastros de suelos con alófana<sup>1</sup>, con una capacidad de retención de humedad que sobrepasa el 80%. Son suelos cultivables para, plátano, palma y pastizales por la luminosidad del sector.

También se encuentran depósitos de ceniza volcánica antigua, a partir de las cuales se han desarrollado suelos negros, limo-arenosos a limo-arcillosos, muy suaves y esponjosos, que en profundidad torna de un color amarillo, con una capacidad de retención de humedad de 100 % en promedio.

Por la ubicación de la Extractora PEXA S.A y los centros poblados existe un grado considerable de riesgo sísmico por encontrarse el Ecuador ubicado en una zona de gran actividad sísmica conocida como el cinturón de fuego del Pacífico. En cuanto a riesgos volcánicos el cantón Quinindé y la Provincia de Esmeraldas en general no son zonas volcánicas, así que los riesgos de erupciones volcánicas pueden ser descartados al momento.

<sup>1</sup> La alófana es un mineral de origen hidrotermal distribuido a lo largo de las grietas de rocas sedimentarias, se encuentra agregado a otros minerales como el carbón.

## **Geología predominante del sector**

Estudios geológicos realizados en el año 2010 por la empresa Hidrogeocol Cía. Ltda describen que el área de estudio está constituida por depósitos cuaternarios a recientes. La geología regional pertenece a la Formación San Tadeo compuesta de fases fluviales, lahares, depósitos piroclásticos y acumulaciones eólicas. (DIAZ. 2012, p. 25)

En la región se distingue cuatro secuencias descritas a continuación:

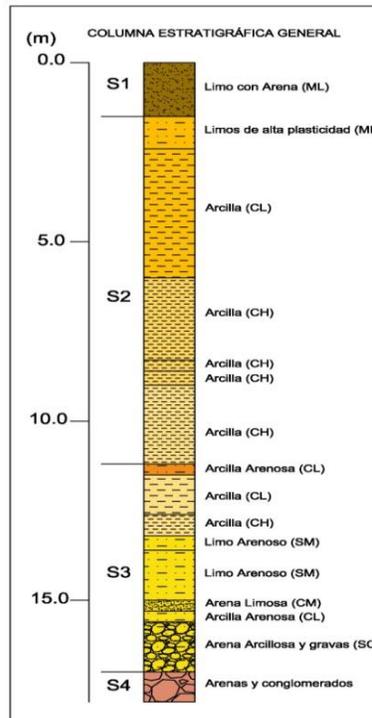
**Estrato S1:** Su espesor aproximado es de 0.5 m a 1.5 m. Está formada por limos arenosos de color marrón oscuro. El porcentaje de limo es 70%, y la parte arenosa es el 30%. Es aquí donde se desarrolla la cobertura vegetal y actividades agrícolas. Este suelo permanece húmedo gran parte del año. (DIAZ. 2012, p. 26)

**Estrato S2:** Su espesor estimado está entre 6 a 8 m. Se sitúa debajo de la S1, comprende Arenas arcillosas de color marrón o entre amarillos y rojizos. En cortes expuestos a los lados de la carretera dentro del área se aprecian algunos espacios con limos, además la transición de S1 a S2 separado por un estrato de 10 cm de arenas de color gris verdoso claro.

**Estrato S3:** El espesor estimado de S3 esta aproximadamente entre 7 a 10m., este estrato se caracteriza por presentar lentes de arenas finas de pequeños espesores (2cm). A medida que se desciende se aprecia un gran incremento de fragmentos de rocas entre 3cm y 20cm dentro de una matriz areno arcillosa. El 90 % de las rocas se encuentran muy alterados a arcilla, siendo su composición muy variada. A medida que se acerca al lecho del río Cocola se observan arenas finas y medias y gravas de color gris, azulado y plomo.

**Estrato S4:** Ubicada luego de la S3, está constituido por una matriz densa areno limosa con arenas medias a gruesas, conglomerados limosos y rocas. Observar este estrato en el área de estudio es poco probable debido a su profundidad. (DIAZ. 2012, p. 28)

**Figura N° 3-3:** Columna estratigráfica del AI de la Extractora

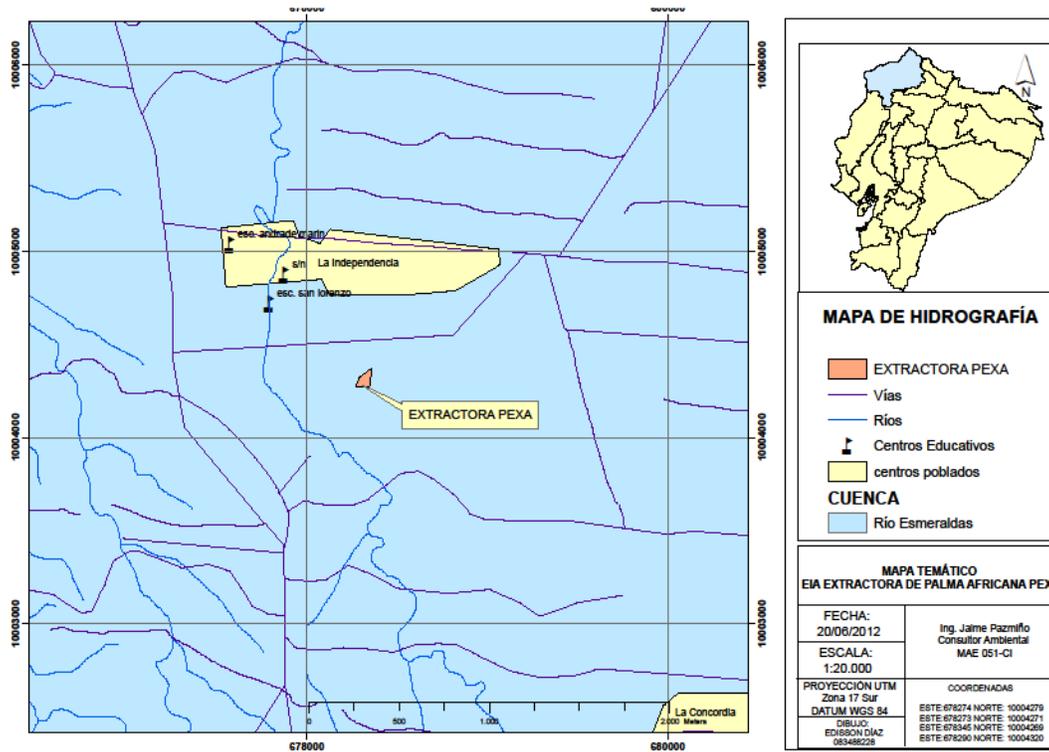


Fuente: DIAZ. 2012.

### 3.4.1.3. Hidrología del Área de Estudio

El AI de la extractora PEXA S.A. pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Esmeraldas en el Mapa N° 3-4. se pueden distinguir los cuerpos de agua existentes en el Área, el más cercano a la Extractora es el río Cocola. El régimen hídrico de la zona está condicionado por la cantidad de lluvia que cae. Todo el sector geográfico incluido el sector del estudio presenta condiciones geológicas favorables para la captación y retención de aguas subterráneas, por lo cual se presenta un alto desarrollo de pozos. En el área de la extractora, existen escurrimientos superficiales de forma temporal, debido a las precipitaciones especialmente en la temporada invernal.

**Mapa N° 3-4:** Hidrografía predominante de la Extractora PEXA S.A.



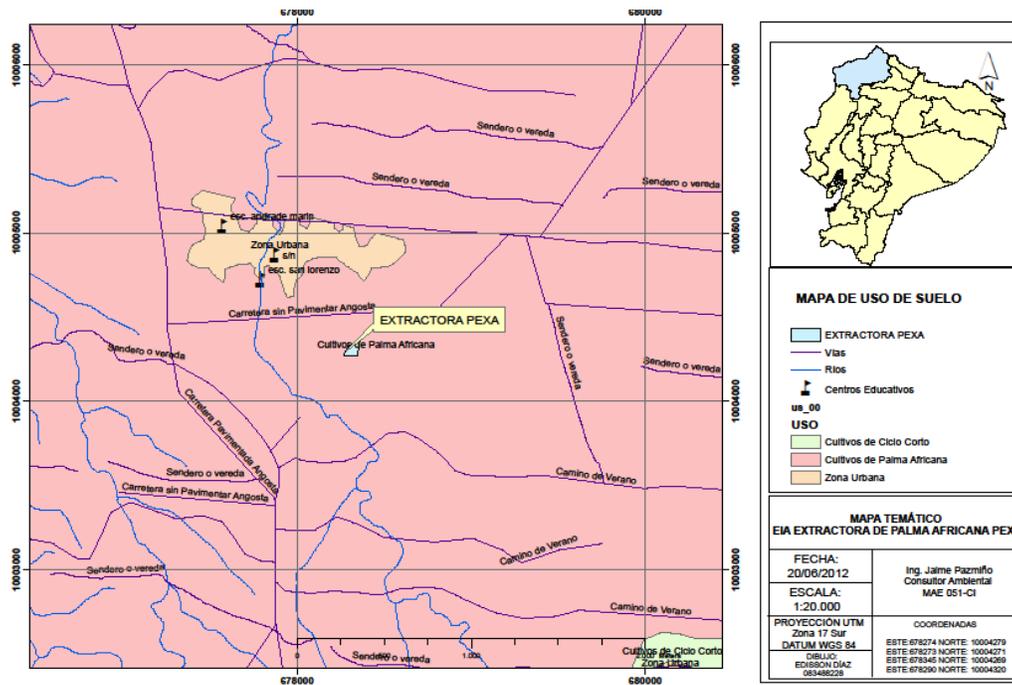
**Fuente:** Cartografía del Ingeniero Jaime Pazmiño Consultor Ambiental

Las muestras de agua obtenidas de la piscina de oxidación se analizaron y los resultados entregados por el laboratorio determinan el rango de la contaminación que experimenta el agua que abandona el proceso de extracción de aceite (ver Anexo B). La depuración de las aguas descargadas, eventualmente reducirá los niveles de los parámetros analizados junto con el clima del sector que favorece la degradación de materia orgánica, y se reducirán sus valores previo a las descargadas en el río. Mientras las aguas se depuran, en el interior de la laguna se dan procesos de infiltración de un porcentaje del agua en la matriz del suelo arrastrando consigo aquellas sustancias que se asientan el fondo de la laguna.

### 3.4.1.4. Uso del suelo

El área de estudio pertenece a una extensa zona de ecosistema Tropical Megatérmico Húmedo, en donde se asientan y desarrollan poblaciones, con sus características propias de generación de actividades productivas y el intenso uso de los recursos naturales, enmarcados dentro de la agricultura, ganadería, y la práctica generalizada de grandes áreas de cultivo de Palma Africana.

**Mapa N° 3-5:** Uso del Suelo en las inmediaciones de la Extractora PEXA S.A.



**Fuente:** Cartografía del Ingeniero Jaime Pazmiño Consultor Ambiental.

También se enviaron a analizar al laboratorio aquellos sedimentos depositados en el fondo de la laguna oxidativa de la Extractora, los parámetros analizados fueron aquellos metales e hidrocarburos que son poco solubles en agua y vienen adheridos al material sólido descargado en el sistema de tratamiento. Los valores de su concentración en la fase sólida constituyen el punto de partida para el análisis de su transporte a través del suelo su recorrido y cambios de concentración en el transcurso del tiempo. La descripción del transporte de sustancias contaminantes a través del subsuelo de la piscina de oxidación debe reflejar los resultados de estos valores en los cálculos respectivos y detallados más adelante en este capítulo.

### 3.4.2. Componente Biótico

Dentro de este estudio se realizó un análisis de las diferentes especies silvestres que viven dentro del AI. Se enumeraron aquellos ecosistemas sobresalientes de la zona, identificando sus particularidades climáticas y ecológicas. Además también se ha analizado la presencia y diversidad de flora y fauna, propios de la costa ecuatoriana, que se han adaptado a vivir con el hombre y sus obras de desarrollo social, industrial y cultural.

### 3.4.2.1. Flora

El área del proyecto pertenece a la formación vegetal Bosque Siempre verde de tierras bajas; en la actualidad no se encuentra vegetación original dentro del AID del estudio, el ecosistema se presenta bien alterado por distintas actividades antropogénicas, principalmente ganadería y agricultura y la vegetación original se restringe a zonas alejadas. En la zona de implementación del proyecto y sus alrededores se registran especies de importancia alimenticia y comercial para la población como: “Palma de coco” *Cocos nucífera*, “Palma africana” *Elaeis guineensis*, “Balsa” *Ochroma pyramidale*, en general rodeadas de “Pastizales” (*Poaceae*). Banano (*Musa spp.*) y pastos (*Axonopus scoparius*) para la ganadería, razón por la cual la vegetación natural ha desaparecido casi por completo.

La vegetación mayoritariamente de cultivos de interés antrópico formada por cultivos de ciclo corto, perennes, cultivos anuales, plantaciones forestales, pastizales y zonas de matorral, la mayor parte es cubierta por Plantaciones de Palma Africana. En un recorrido por el área se encontraron pocas de aquellas especies, nativas revisadas en el Catálogo de Plantas Vasculares del Ecuador, estas son cultivadas y comercializadas en los mercados locales, y representan un recurso indispensable para el desarrollo de los sistemas de agricultura sostenible por ejemplo las especies de *Carica papaya* (Papaya), *Annona cherimola* (Chirimoya), *Annona muricata* (Guanábana), *Inga edulis* (Guaba), *Inga spectabilis* (Ingá), *Bixa Orellana* (Achiote), *Theobroma cacao* (Cacaotero), *Gossypium barbadense* (Algodón de Pima). También se encontraron especies maderables como: *Tectona grandis* (Teca) y *Schizolobium parahyba* (Guapuruvú). (BASLEV et al. 1999)

Del estudio y observación de la flora se concluye que las condiciones presentes de la vegetación corresponden a un área muy intervenida con remanentes de bosque asociados a plantaciones perennes y una pequeña extensión de pastizales. En este caso, el principal uso del suelo está íntimamente relacionado con las plantaciones de Palma Aceitera. Las especies de flora más vulnerables son los árboles de maderas finas, cuya abundancia y frecuencia se han visto altamente reducidas por descontrolada tala indiscriminada. Entre las especies con mayor grado de amenaza están la caña guadua (*Guadua angustifolia*), el moral fino (*Chlorophora tinctoria*), el guayacán (*Tabebuia chrysantha*), la Jigua (*Nectandra spp.*), el cedro colorado (*Ocotea spp.*), la caoba (*Trichilia pleeana*), y el bálsamo (*Myroxylon peruiiferum*). Otras especies que se adaptan para la siembra dentro de las áreas cultivables de la zona de estudio se enumeran en el siguiente listado: (BASLEV et al. 1999)

**Tabla N° 3-6:** Lista de especies vegetales observadas en el AI de PEXA S.A.

Nombre Común	Nombre Científico
Piñón	<i>Jatropha curcas</i>
Laurel	<i>Cordia Allodora</i>
Moral	<i>Morus nigra</i>
Guaba	<i>Inga spp.</i>
Mate	<i>Crescentia cujute</i>
Bototillo	<i>Cochlospermum vitifolium</i>
Jaile	<i>Eriotheca ruizii</i>
Moyuyo	<i>Cordia lutea</i>
Algarrobo	<i>Prosopis pallida</i>
Cereza	<i>Malgipia spp.</i>
Cade	<i>Phytelephasa equatorialis</i>
Chala	<i>Crotonrivinae folius</i>
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>
Laurel	<i>Laurus nobilis</i>
Caña guadua	<i>Guadua angustifolia</i>
Ceibo	<i>Ceibal petandra</i>
Matapalos	<i>Ficus spp.</i>
Guachapelí	<i>Pseudosamanea guachapele</i>
Higuerilla	<i>Ricinus communis</i>
Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>
Cojojo	<i>Acnistus arborescens</i>
Florón	<i>Ipomoea carnea</i>
Palma Real	<i>Attalea colenda</i>
Guasmo	<i>Piptocoma discolor</i>
Samán	<i>Samanea saman</i>
Pechiche	<i>Vitex gigantea</i>
Pachaco	<i>Schizolobium parahyba</i>
Dormidera	<i>Mimosa pigra</i>

Realizado por: Javier Basantes

### 3.4.2.2. Fauna

Ecuador que es considerado uno de los 17 países megadiversos, con su reducido tamaño (0.17% del tamaño del planeta), alberga 9,2 especies por kilómetro cuadrado, lo que lo convierte en el país con mayor diversidad biológica por unidad de área en el mundo. La presencia de la cordillera de los Andes, la influencia de las corrientes marinas en la franja climática costera, la ubicación del país atravesado por la línea equinoccial entre otros factores permiten la formación de gran variedad de microclimas, y el desarrollo de comunidades faunísticas dentro. Los factores climáticos en la zona tropical de la tierra

producen un aumento en la humedad y temperatura en la superficie del Ecuador. La gran riqueza biológica del Piso Tropical en el cual está la Extractora y su AI convierten a este sector noroccidental del país en uno de los más diversos en cuanto a su fauna. (SOBREVILLA & BATH. 1992, p. 124-198)

Pero ésta riqueza se encuentra en peligro debido a las múltiples actividades humanas que se ejecutan, por lo que la realización de inventarios de los seres vivos, es una prioridad estratégica dentro de todo estudio científico y técnico que se elabora en el sector, y tener el conocimiento de las especies que existen, su ubicación y cantidad, ayudan al momento de establecer medidas correctoras referentes a la industria extractora y el desarrollo de nuevos proyectos de estudio actualizados.

La zona de estudio se encuentra dentro del Piso Zoo geográfico Tropical Suroccidental, según el Estudio preliminar de los vertebrados ecuatorianos. En la superficie donde se lleva a cabo el estudio convergen ecosistemas naturales con la presencia de ecosistemas intervenidos y variada vegetación antrópica. Bajo el presente contexto la fauna ha experimentado a lo largo del tiempo, cambios en su hábitat, obligando a las especies a refugiarse en zonas con remanentes boscosos o ecosistemas naturales acuáticos predominantes que aún quedan por la zona. A continuación se presenta una descripción taxonómica de las especies presentes en el AI, y divididas en sus clases respectivas conforme se encuentran en el estado actual de la zona. (SOBREVILLA & BATH. 1992, p. 124-198)

**Tabla N° 3-7:** Especies de aves registradas en el AI de la Extractora PEXA S.A.

Clase	Nombre Científico	Nombre Común
Ave	<i>Leucopternis princeps</i>	Gavilán Príncipe
Ave	<i>Trogon melanurus</i>	Trogon
Ave	<i>Ramphastos spp.</i>	Tucán
Ave	<i>Fregata magnificens</i>	Tijereta o Fragata real
Ave	<i>Picumnus olivaceus</i>	Carpintero oliva
Ave	<i>Columbina passerina</i>	Tórtola Frijolera
Ave	<i>Querula purpurata</i>	Cuervo
Ave	<i>Penelope purpurascens</i>	Pava
Ave	<i>Parabuteo unicinctus</i>	Gavilán
Ave	<i>Chaetura cinereiventris</i>	Vencejo Ceniciento
Ave	<i>Columbina cruziana</i>	Tórtola Turrenga
Ave	<i>Crypturellus soui</i>	Perdiz
Ave	<i>Coragyps atratus</i>	Gallinazo negro
Ave	<i>Columba livia</i>	Paloma domestica
Ave	<i>Claravis pretiosa</i>	Tórtola
Ave	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina
Ave	<i>Ortalisery thoptera</i>	Guacharaca
Ave	<i>Tyto Alba</i>	Lechuza
Ave	<i>Cathartes aura</i>	Gallinazo de cabeza roja

**Tabla N° 3-7: Continuación**

<b>Ave</b>	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero
<b>Ave</b>	<i>Heliodoxa jacula</i>	Colibrí frente verde
<b>Ave</b>	<i>Icterus mesomelas</i>	Cacique
<b>Ave</b>	<i>Thraupis episcopus</i>	Azulejo
<b>Ave</b>	<i>Mionectes olivaceus</i>	Mosquerito
<b>Ave</b>	<i>Furnarius cinnamomeus</i>	Hornero del Pacifico

Realizado por: Javier Basantes

**Tabla N° 3-8: Mamíferos registrados en el AI de la Extractora PEXA S.A.**

Clase	Nombre Científico	Nombre Común
<b>Mamífero</b>	<i>Sciurus granatensis</i>	Ardilla
<b>Mamífero</b>	<i>Equus ferus caballus</i>	Caballo
<b>Mamífero</b>	<i>Bos taurus</i>	Toro
<b>Mamífero</b>	<i>Bos primigenius taurus</i>	Vaca
<b>Mamífero</b>	<i>Agouti paca</i>	Guanta
<b>Mamífero</b>	<i>Equus africanus asinus</i>	Burro
<b>Mamífero</b>	<i>Dasyprocta punctata</i>	Guatusa
<b>Mamífero</b>	<i>Oryzomys spp.</i>	Ratón
<b>Mamífero</b>	<i>Didelphis marsupialis</i>	Raposa
<b>Mamífero</b>	<i>Felis yagouaroundi</i>	Gato de monte
<b>Mamífero</b>	<i>Artibeus watsoni</i>	Murciélago
<b>Mamífero</b>	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Armadillo
<b>Mamífero</b>	<i>Vulpes vulpes</i>	Zorro
<b>Mamífero</b>	<i>Lycalopex sechurae</i>	Perro de monte

Realizado por: Javier Basantes

**Tabla N° 3-9: Reptiles y Anfibios registrados en el AI de la Extractora PEXA S.A.**

Clase	Nombre Científico	Nombre Común
<b>Reptil</b>	<i>Podarcis Hispanica</i>	Lagartija Común
<b>Reptil</b>	<i>Boa constrictor</i>	Culebra Matacaballo
<b>Reptil</b>	<i>Pantherophis spp.</i>	Culebra Ratonera
<b>Reptil</b>	<i>Iguana iguana</i>	Iguana
<b>Reptil</b>	<i>Bothrops atrox</i>	Culebra X
<b>Reptil</b>	<i>Micrurus spp.</i>	Culebra Coral
<b>Reptil</b>	<i>Clelia clelia</i>	Chonta o lisa
<b>Anfibio</b>	<i>Bufo spp.</i>	Sapo
<b>Anfibio</b>	<i>Pelophylax perezii</i>	Rana

Realizado por: Javier Basantes

**Tabla N° 3-10: Peces y moluscos registrados en el AI de la Extractora PEXA S.A.**

Clase	Nombre Científico	Nombre Común
<b>Pez</b>	<i>Electrophorus electricus</i>	Anguila eléctrica
<b>Pez</b>	<i>Rhamdia quelen</i>	Bagre

**Tabla N° 3-10:** Continuación

<b>Pez</b>	<i>Eleginops maclovinus</i>	Robalo
<b>Pez</b>	<i>Mujil curema</i>	Lisa
<b>Pez</b>	<i>Acanthistius brasilianus</i>	Mero
<b>Pez</b>	<i>Umbrina canosai</i>	Pargo de Piedra
<b>Pez</b>	<i>Antennariidae spp.</i>	Pez sapo
<b>Pez</b>	<i>Urotrygonidae</i>	Rayo
<b>Pez</b>	<i>Prochilodus platensis</i>	Sábalo
<b>Pez</b>	<i>Halichoeres dispilus</i>	Vieja
<b>Molusco</b>	<i>Donax dentifer</i>	Almeja
<b>Molusco</b>	<i>Mytilidae spp.</i>	Churo
<b>Molusco</b>	<i>Argopecten purpuratus</i>	Ostión
<b>Molusco</b>	<i>Mytella rigata</i>	Mejillón

Realizado por: Javier Basantes

Finalmente existen en los lechos del Río Cocola un sinnúmero de especies de crustáceos de río, entre ellos están el camarón bravo, camarón burra, camarón culumbay, camarón de agua dulce, camarón de agua salada, cangrejo azul (*Aratus pisonii*), chato, dormilona, guariche, jaiba de río, pangora, sastre, tasquero.

### 3.4.3. Componente Antropogénico

#### 3.4.3.1. Aspectos Demográficos

La estructura demográfica de los habitantes se ve influida por los procesos socioeconómicos propios de las zonas del litoral, como el comercio, la actividad turística, la pesca, producción agrícola y en menor medida, la producción de artesanías; en el caso de la Provincia de Esmeraldas su economía se basa en la producción agropecuaria, la riqueza del suelo y del mar; el sector agrícola es el más explotado con cultivos como el tabaco, café, cacao, palma africana, banano y demás frutas tropicales. La explotación de maderera la pesca y el turismo, constituyen importantes fuentes de ingresos. En su territorio se encuentra una de las más importantes industrias para la economía ecuatoriana como la Refinería de Estatal de Esmeraldas. En la provincia de Esmeraldas residen 534.092 Hab., según el censo de población y vivienda 2010 el cual indica que la población del cantón La Concordia es de 42.924 habitantes.

**Tabla N° 3-11:** Sexo y Edad de los habitantes de La Concordia.

Grupos quinquenales de edad	Sexo		
	Varón	Mujer	Total
Menor de 1 año	497	420	917
De 1 a 4 años	2153	2003	4156

**Tabla N° 3-11: Continuación**

De 5 a 9 años	2710	2658	5368
De 10 a 14 años	2662	2549	5211
De 15 a 19 años	2189	2243	4432
De 20 a 24 años	1851	1896	3747
De 25 a 29 años	1643	1782	3425
De 30 a 34 años	1420	1461	2881
De 35 a 39 años	1266	1257	2523
De 40 a 44 años	1096	1112	2208
De 45 a 49 años	1049	947	1996
De 50 a 54 años	854	756	1610
De 55 a 59 años	716	611	1327
De 60 a 64 años	533	460	993
De 65 a 69 años	425	415	840
De 70 a 74 años	340	281	621
De 75 a 79 años	168	141	309
De 80 a 84 años	109	94	203
De 85 a 89 años	45	53	98
De 90 a 94 años	9	30	39
De 95 a 99 años	11	6	17
De 100 años y más	2	1	3
<b>Total</b>	<b>21748</b>	<b>21176</b>	<b>42924</b>

Realizado por: Javier Basantes

Fuente: Censo de población y vivienda 2010.

**Tabla N° 3-12: Población por Zonas en La Concordia.**

Sexo	Área Urbana/Rural		
	Zona Urbana	Zona Rural	Total
<b>Varón</b>	14379	7369	21748
<b>Mujer</b>	14624	6552	21176
<b>Total</b>	<b>29003</b>	<b>13921</b>	<b>42924</b>

Realizado Por: Javier Basantes

Fuente: Censo de población y vivienda 2010.

### 3.4.3.2. Condiciones económicas

La Población Económicamente Activa (PEA) está íntimamente relacionada con el sistema económico que se maneja en el AI y que a su vez interactúa con el mercado regional y nacional.

La producción y venta de productos agropecuarios, artesanías, y la actividad turística constituyen el principal mecanismo de inserción laboral de la población, y junto a la dinámica de auto subsistencia, delimita las posibilidades de ocupación de la Población en Edad de Trabajar (PET). Las actividades agropecuarias absorben gran cantidad del trabajo social disponible en poblaciones cercanas al AI del Estudio.

La economía se limita al ámbito local sustentado en la producción agropecuaria y las actividades comerciales que de ellas derivan junto con el comercio local. Estas condiciones se encuentran en la base de empleos e los que se ocupa la población del AI estudiada. La PET ocupa el 75.27% de la población total de Esmeraldas, mientras que la PEA es de 198559hab. dentro de la Provincia de Esmeraldas, con una predominancia femenina del 65.69%.

### 3.4.3.3. Vivienda

Las viviendas son construidas de forma heterogénea y de acuerdo a las posibilidades de sus propietarios. Los ingresos económicos que perciben los habitantes inciden en las características de las viviendas. Según datos del último censo de población y vivienda 2010 La Concordia presenta los siguientes datos:

**Tabla N° 3-13:** Tipos de Vivienda encontrados en La Concordia.

Tipo de la vivienda	Área Urbana o Rural		
	Zona Urbana	Zona Rural	Total
Casa o Villa	6616	3550	10166
Departamento en casa o edificio	479	79	558
Cuartos en casa de inquilinato	399	58	457
Mediagua	459	176	635
Rancho	345	570	915
Covacha	69	61	130
Choza	13	29	42
Otra vivienda particular	41	20	61
Hotel, pensión, residencial u hostel	1	-	1
Cuartel Militar o de Policía y Bomberos	1	-	1
Otra vivienda colectiva	1	-	1
Sin Vivienda	-	2	2
<b>Total</b>	<b>8423</b>	<b>4546</b>	<b>12969</b>

**Realizado por:** Javier Basantes

**Fuente:** Censo de población y vivienda 2010.

### 3.4.3.4. Acceso a Servicios Básicos

De la información recopilada y el recorrido realizado por el sector, cerca de la mitad de los pobladores del Cantón cuentan con una completa cobertura de estos servicios. También se nota la falta de servicios de alcantarillado y la telefonía pública no es accesible en gran parte de la población.

**Tabla N° 3-14:** Origen del agua utilizada en La Concordia.

Procedencia principal del agua recibida	Área Urbana o Rural		
	Zona Urbana	Zona Rural	Total
De red pública	2323	1289	3612
De pozo	4716	1761	6477
De río, acequia, vertiente o canal	19	370	389
De carro repartidor	83	8	91
Otro	53	40	93
<b>Total</b>	<b>7194</b>	<b>3468</b>	<b>10662</b>

Realizado por: Javier Basantes

Fuente: Censo de población y vivienda 2010.

**Tabla N° 3-15:** Procedencia de la energía eléctrica en La Concordia.

Procedencia de luz eléctrica	Área Urbana o Rural		
	Zona Urbana	Zona Rural	Total
Red de empresa eléctrica de servicio público	6722	2947	9669
Panel Solar	8	8	16
Generador de luz (Planta eléctrica)	21	51	72
Otro	114	46	160
No tiene	329	416	745
<b>Total</b>	<b>7194</b>	<b>3468</b>	<b>10662</b>

Realizado por: Javier Basantes

Fuente: Censo de población y vivienda 2010.

### 3.4.3.5. Tenencia de tierras

La descripción del componente en la provincia de Esmeraldas, enumera a los propietarios con título, que según el Censo de población y vivienda 2010 corresponde al 63.55% de Unidades Productivas Agropecuarias (UPAs). En segundo lugar las UPAs ocupadas sin título con el 8.9%, las tierras comunales representan el 0.19% y las de tenencia mixta el 14.8%. En el caso de La Concordia y La Independencia, el régimen predominante corresponde a propiedades individuales con título.

Según los datos obtenidos del CPV 2010, los pobladores de La Concordia en su mayoría agricultores, dedican su producción a cultivos tales como: Palma Africana, maracuyá, maíz, yuca, plátano, verde y productos ganaderos.

#### **3.4.3.6. Comercio**

El tipo de comercio existente se divide en cuatro sectores de acuerdo a la magnitud de actividad: negocios pequeños, negocios medianos, extensiones de grandes plantaciones y la presencia de Extractoras de Palma Africana y otras industrias, dedicadas a satisfacer las necesidades económicas de los pobladores del Cantón y dinamizar la economía local. Se encuentran además pequeñas tiendas de abarrotes, víveres, bares, mecánicas, restaurantes y venta de herramientas agrícolas primarias, así como un pequeño mercado donde se comercializa al por mayor y menor los productos. El volumen de comercio interno es minoritario, al no existir mayor demanda de productos debido a que sus pobladores trabajan en zonas rurales o en otras parroquias.

La producción industrial aún no está tan arraigada, en el sector por lo que el comercio se limita a la circulación de productos en el sistema local urbano, alimentos y otros productos agrícolas que se despachan desde el sector y las mercancías manufacturadas traídas desde ciudades industrializadas (como Manta, Portoviejo y Guayaquil) para la circulación local.

#### **3.4.3.7. Salud**

El personal del dispensario del Recinto La Libertad en conjunto con el subcentro de salud de La Concordia, realizan periódicamente campañas de vacunación y charlas educativas para prevención de embarazos adolescentes, vacunación en las escuelas y conformación de brigadas médicas para asistencia a la población; así como también programas de planificación familiar. Entre las enfermedades más tratadas en La Concordia, los médicos reportan enfermedades respiratorias, problemas de disentería, trastornos digestivos y problemas dermatológicos, de las que se reconocen las siguientes:

- Diarreicas: Gastroenteritis, Parasitosis.
- Respiratorias agudas: Faringitis, Amigdalitis, Bronquitis.
- Dermatológicas: Dermatitis, Micosis.

En este punto los trabajadores de la Extractora PEXA S.A. cuentan con un seguro médico ante cualquier situación de emergencia como de atención primaria de enfermedades, la Empresa ha realizado convenios con entidades de salud de la Provincia de Sto. Domingo. Las capacidades de atención de hospitales y clínicas hacen extensiva la oferta de salud al cantón La Concordia, por lo que ante enfermedades graves o accidentes, se cuenta únicamente con un Subcentro de salud, por lo que los pacientes deberían trasladarse a Santo Domingo, Quinindé, o Esmeraldas para recibir una atención especializada en el caso de necesitarla.

### **3.4.3.8. Educación**

Dentro del área de Influencia indirecta al proyecto en la localidad de La Independencia se encuentran en funcionamiento tres establecimientos educativos: se trata de la “Unidad Educativa Mixta Guirol” y las escuelas Andrade Marín y San Lorenzo. A parte de ellas no existen dentro de La Independencia otras instituciones de formación secundaria o superior. El analfabetismo, a nivel provincial se ha logrado disminuir un cierto porcentaje y según el último censo de población y vivienda del 2010 éste se encuentra alrededor del 9.8%.

## **3.5. Resultados de los análisis IN SITU**

### **3.5.1. Valores de Temperatura Medidos**

Se tomaron 9 mediciones de temperatura a lo largo del recorrido al interior de la piscina de oxidación. La selección de cada punto para la medición de la temperatura fue hecha en base a una grilla de muestreo diseñada luego de conocer las dimensiones de la piscina de forma que las mediciones sean lo más equidistantes posibles una de otra y representen las diferentes variaciones que sufre el agua descargada proveniente del proceso de extracción del aceite. Los valores de temperatura del agua al momento de la descarga se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla N° 3-16:** Valores de Temperatura dentro de la Piscina de oxidación.

<b>Punto N°</b>	<b>Temperatura [°C]</b>
1	59
2	59
3	40
4	35
5	38

**Tabla N° 3-16: Continuación**

6	34
7	27
8	24
9	24

Realizado por: Javier Basantes

### 3.5.2. Resultados de la Prueba sensitiva

Durante la toma de muestras al interior de la piscina de oxidación de PEXA S.A. y al momento de etiquetarlas y guardarlas para el transporte y análisis se pudo realizar una valoración cualitativa de sus características organolépticas los resultados se presentan a continuación:

- La percepción en cuanto al olor de las muestras es que poseen un olor fuerte de tipo desagradable orgánico, aceitoso y con presencia sensitiva de combustibles que ingresan hasta la descarga
- Visualmente el aspecto del agua in situ presenta una coloración tenue de color amarillento pardo que se vuelve más oscura conforme se adentra al fondo de la piscina y que se presenta turbia en su interior debido a la presencia de materia orgánica, lodos y sólidos suspendidos que se muestran más evidentes en los bordes de la laguna formando sectores bastante turbios y de una coloración negruzca con mucho material en suspensión.
- En cuanto a la temperatura percibida, ésta se mantiene muy cercana a la ambiental que impera en el sector, excepto en el momento que se realizan las descargas, es allí cuando aumenta de forma brusca en su superficie tardando algún tiempo en recuperar el equilibrio, aun así existen zonas dentro de la laguna que conservan el calor de las descargas líquidas pero que igual dependen de las condiciones del sector y la ubicación en particular de la piscina de oxidación.

### 3.6. Resultados de Infiltración y Conductividad Hidráulica

Luego de realizar la prueba de infiltración en el lugar definido para el estudio se obtuvieron los valores de los parámetros que se requieren para determinar la velocidad de infiltración y la conductividad hidráulica del suelo de la extractora PEXA S.A.

Los datos obtenidos de la prueba de infiltración in situ fueron tabulados en una hoja de cálculo.

**Tabla N° 3-17:** Resultados de la prueba de infiltración del suelo

Lectura [mm]	Tiempo parcial [min]	Tiempo acumulado [min]	Lamina parcial [mm]	Lamina acumulada [mm]	Tiempo parcial [h]	Tiempo acumulado [h]	Vel. de infiltración instantánea [mm/h]	Velocidad de infiltración [mm/h]
200	0	0	0	0	0	0	-	-
188	0,5	0,5	12	12	0,0083	0,0083	1156	1155,66
176	0,5	1	12	24	0,0083	0,0167	1156	759,45
164	0,5	1,5	12	36	0,0083	0,0250	1156	594,07
154	0,5	2	10	46	0,0083	0,0333	1156	499,07
135	1	3	19	65	0,0167	0,0500	759	390,39
124	1	4	11	76	0,0167	0,0667	759	327,97
117	1	5	7	83	0,0167	0,0833	759	286,50
111	1	6	6	89	0,0167	0,1000	759	256,55
106	1	7	5	94	0,0167	0,1167	759	233,68
101	3	10	5	99	0,0500	0,1667	390	188,28
97	3	13	4	103	0,0500	0,2167	390	160,61
94	3	16	3	106	0,0500	0,2667	390	141,63
91	3	19	3	109	0,0500	0,3167	390	127,63
88	3	22	3	112	0,0500	0,3667	390	116,79
85	5	27	3	115	0,0833	0,4500	287	103,16
82	5	32	3	118	0,0833	0,5333	287	93,07
80	5	37	2	120	0,0833	0,6167	287	85,24
78	5	42	2	122	0,0833	0,7000	287	78,94
76	5	47	2	124	0,0833	0,7833	287	73,74
74	5	52	2	126	0,0833	0,8667	287	69,36
72	5	57	2	128	0,0833	0,9500	287	65,61
70	5	62	2	130	0,0833	1,0333	287	62,35

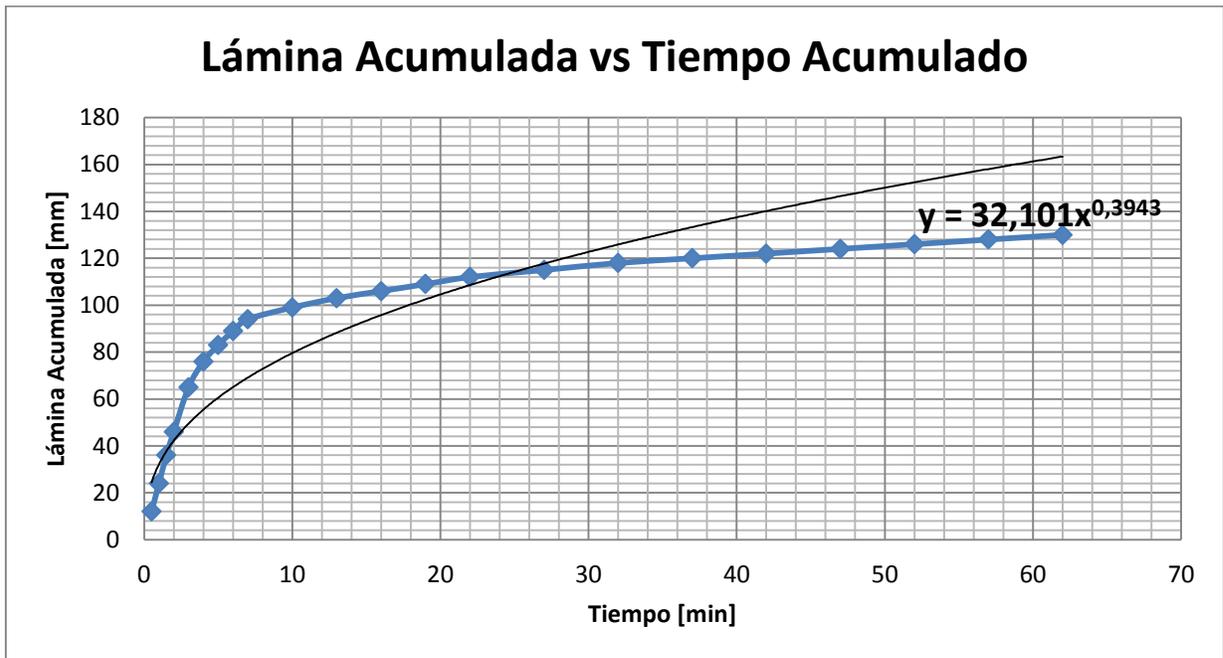
Realizado por: Javier Basantes

Los datos obtenidos en campo se expresaron en unidades de milímetros en lo que se refiere a la altura de la lámina de agua y su infiltración dentro del suelo.

Las unidades de tiempo se expresaron en minutos y horas de acuerdo a la facilidad del manejo de los datos y cálculos que se realizarán posteriormente junto con sus respectivas fracciones gracias al uso de un cronómetro.

Con los valores obtenidos de la lámina acumulada y del tiempo acumulado se genera una gráfica en dispersión.

**Gráfico N° 3-1:** Lámina acumulada vs Tiempo acumulado de la prueba de infiltración



Realizado por: Javier Basantes

En el gráfico se observa, que la lámina de infiltración acumulada asciende en forma rápida al comienzo, y se va haciendo más lenta al final del tiempo, esto se explica ya que el suelo al irse saturando tiene menor capacidad de infiltración. Es importante determinar la ecuación de la curva, la cual se asemeja a una función logarítmica. La ecuación generada es:

$$l = 32.101t^{0.3943}$$

Luego derivando esta ecuación en función del tiempo se obtiene la ecuación de la velocidad de infiltración ( $i$ ):

$$i = \frac{dl}{dt} = \frac{d(32.101t^{0.3943})}{dt}$$

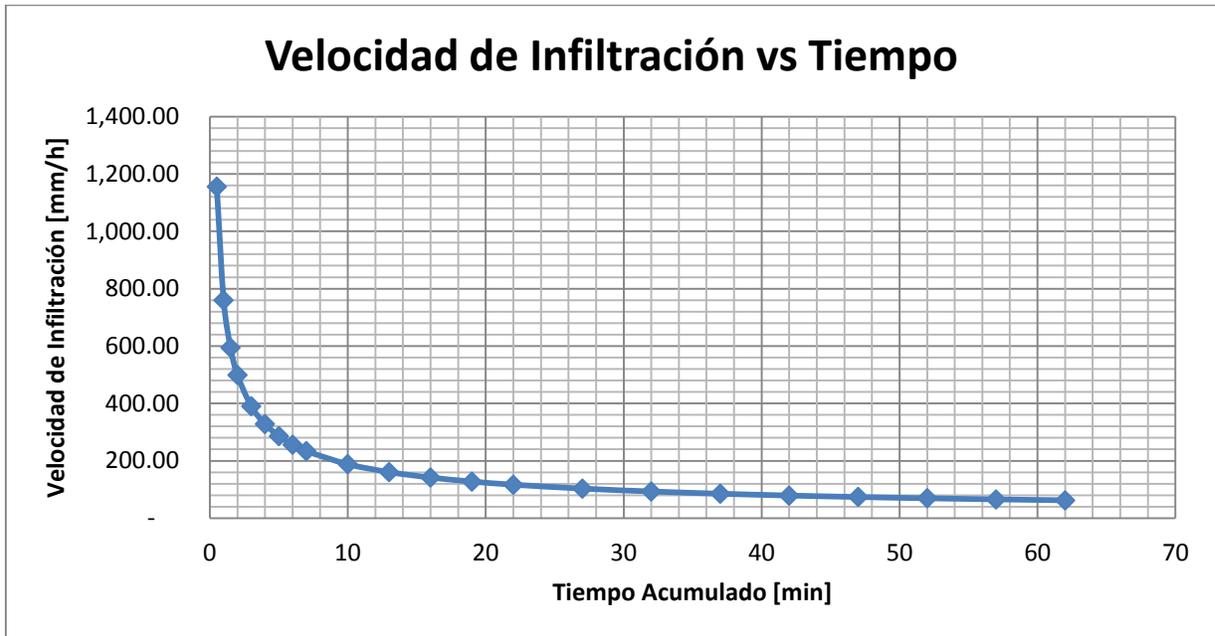
$$i = (32.101 * 0.3943 * 60)t^{(0.3943-1)}$$

$$i = 759.445t^{(-0.6057)}$$

Donde  $i$  es la velocidad de infiltración en  $mm/h$ , el factor 60 utilizado en la ecuación es para pasar de minutos a horas, y  $t$  es el tiempo en minutos.

Determinada la ecuación de la velocidad de infiltración es posible calcular esta velocidad en los tiempos acumulados medidos en la prueba in situ y graficar estos valores.

**Gráfico N° 3-2:** Velocidad de infiltración vs Tiempo Acumulado



Realizado por: Javier Basantes

En este gráfico se demuestra que la velocidad de infiltración desciende en forma exponencial a medida que avanza el tiempo, hasta alcanzar un valor en el cual se estabiliza, éste es el valor de la infiltración básica.

$$i_b = K t_b^n$$

La velocidad de infiltración básica se calcula tomando en consideración un tiempo básico que le corresponde y que se calcula con la siguiente ecuación:

$$t_b = -10 * (n) = (-10) * (-0.6057)$$

$$t_b = 6.057 \text{ horas} = 363.42 \text{ min}$$

Y la velocidad de infiltración básica será:

$$i_b = 759.445 * (363.42)^{(-0.6057)}$$

$$i_b = 21.36 \text{ mm/h}$$

Para representar este valor dentro del software Visual MODFLOW es necesario cambiar sus unidades a las que se reconocen dentro del programa que son  $m/s$ .

$$i_b = 5.934 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

Este valor representa la conductividad hidráulica ( $K$ ) del suelo de la extractora PEXA S.A. el mismo que varía en función de la tortuosidad del medio por el que fluye el agua (porosidad efectiva) y otros factores propios del subsuelo de tipo físico, químico y biológico.

### 3.7. Resultados de la Determinación de la Densidad

La densidad del agua es un parámetro muy sensible a los cambios de temperatura de ésta, por tanto los valores de temperatura tomada in situ, han servido para determinar los cambios de densidad en el agua a lo largo de la piscina de oxidación.

#### Cálculos:

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(G_1 - G_c) * (\rho_{H_2O})}{(G_2 - G_c)}$$

#### Dónde:

$G_1$ .- Peso del picnómetro con el agua a ser analizada [g]

$G_2$ .- Peso del picnómetro con el agua destilada [g]

$G_c$ .- Peso del picnómetro vacío y seco incluida su tapa esmerilada [g]

$\rho_{(H_2O)}$ .- Densidad del agua (teórica) dependiente de la temperatura. [g/ml]

#### Punto 1.

$$T_{H_2O} = 59^{\circ}C$$

$$\rho_{H_2O} \text{ a } (59^{\circ}C) = 0.98364 \frac{g}{ml}$$

$$Volumen_{picnómetro} = 10 \text{ ml.}$$

$$G_1 = 23.2084 \text{ g.}$$

$$G_2 = 23.1796 \text{ g.}$$

$$G_c = 12.6847 \text{ g.}$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(G_1 - G_c) * (\rho_{H_2O})}{(G_2 - G_c)}$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(23.2084 - 12.6847) * (0.98364)}{(23.1796 - 12.6847)}$$

$$\rho_{79^{\circ}C} = 0.98634 \frac{g}{ml}$$

**Punto 2.**

$$T H_2O = 59^{\circ}C$$

$$\rho H_2O a (59^{\circ}C) = 0.98364 \frac{g}{ml}$$

$$Volumen_{picnómetro} = 10ml.$$

$$G_1 = 23.2084 g.$$

$$G_2 = 23.1796 g.$$

$$G_c = 12.6847g.$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(G_1 - G_c) * (\rho_{H_2O})}{(G_2 - G_c)}$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(23.2084 - 12.6847) * (0.98364)}{(23.1796 - 12.6847)}$$

$$\rho_{79^{\circ}C} = 0.98634 \frac{g}{ml}$$

**Punto 3.**

$$T H_2O = 40^{\circ}C$$

$$\rho H_2O a (40^{\circ}C) = 0.99225 \frac{g}{ml}$$

$$Volumen_{picnómetro} = 10ml.$$

$$G_1 = 23.2084 g.$$

$$G_2 = 23.1796 g.$$

$$G_c = 12.6847g.$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(G_1 - G_c) * (\rho_{H_2O})}{(G_2 - G_c)}$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(23.2084 - 12.6847) * (0.99225)}{(23.1796 - 12.6847)}$$

$$\rho_{79^{\circ}C} = 0.99497 \frac{g}{ml}$$

**Punto 4.**

$$T H_2O = 35^{\circ}C$$

$$\rho H_2O a (38^{\circ}C) = 0.99408 \frac{g}{ml}$$

$$Volumen_{picnómetro} = 10ml.$$

$$G_1 = 23.2084 g.$$

$$G_2 = 23.1796 g.$$

$$G_c = 12.6847g.$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(G_1 - G_c) * (\rho_{H_2O})}{(G_2 - G_c)}$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(23.2084 - 12.6847) * (0.99408)}{(23.1796 - 12.6847)}$$

$$\rho_{79^{\circ}C} = 0.99680 \frac{g}{ml}$$

**Punto 5.**

$$T H_2O = 38^{\circ}C$$

$$\rho H_2O a (38^{\circ}C) = 0.99300 \frac{g}{ml}$$

$$Volumen_{picnómetro} = 10ml.$$

$$G_1 = 23.2084 g.$$

$$G_2 = 23.1796 g.$$

$$G_c = 12.6847g.$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(G_1 - G_c) * (\rho_{H_2O})}{(G_2 - G_c)}$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(23.2084 - 12.6847) * (0.99300)}{(23.1796 - 12.6847)}$$

$$\rho_{79^{\circ}C} = 0.99572 \frac{g}{ml}$$

**Punto 6.**

$$T_{H_2O} = 34^{\circ}C$$

$$\rho_{H_2O} \text{ a } (38^{\circ}C) = 0.99443 \frac{g}{ml}$$

$$Volumen_{picnómetro} = 10ml.$$

$$G_1 = 23.2084 g.$$

$$G_2 = 23.1796 g.$$

$$G_c = 12.6847g.$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(G_1 - G_c) * (\rho_{H_2O})}{(G_2 - G_c)}$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(23.2084 - 12.6847) * (0.99443)}{(23.1796 - 12.6847)}$$

$$\rho_{79^{\circ}C} = 0.99716 \frac{g}{ml}$$

**Punto 7.**

$$T_{H_2O} = 27^{\circ}C$$

$$\rho_{H_2O} \text{ a } (38^{\circ}C) = 0.99659 \frac{g}{ml}$$

$$Volumen_{picnómetro} = 10ml.$$

$$G_1 = 23.2084 g.$$

$$G_2 = 23.1796 g.$$

$$G_c = 12.6847g.$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(G_1 - G_c) * (\rho_{H_2O})}{(G_2 - G_c)}$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(23.2084 - 12.6847) * (0.99659)}{(23.1796 - 12.6847)}$$

$$\rho_{79^{\circ}C} = 0.99932 \frac{g}{ml}$$

**Punto 8.**

$$T_{H_2O} = 24^{\circ}C$$

$$\rho_{H_2O} \text{ a } (24^{\circ}C) = 0.99738 \frac{g}{ml}$$

$$Volumen_{picnómetro} = 10ml.$$

$$G_1 = 23.2084 g.$$

$$G_2 = 23.1796 g.$$

$$G_c = 12.6847g.$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(G_1 - G_c) * (\rho_{H_2O})}{(G_2 - G_c)}$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(23.2084 - 12.6847) * (0.99738)}{(23.1796 - 12.6847)}$$

$$\rho_{79^{\circ}C} = 1.00012 \frac{g}{ml}$$

**Punto 9.**

$$T_{H_2O} = 24^{\circ}C$$

$$\rho_{H_2O} \text{ a } (24^{\circ}C) = 0.99738 \frac{g}{ml}$$

$$Volumen_{picnómetro} = 10ml.$$

$$G_1 = 23.2084 g.$$

$$G_2 = 23.1796 g.$$

$$G_c = 12.6847g.$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(G_1 - G_c) * (\rho_{H_2O})}{(G_2 - G_c)}$$

$$\rho_{T^{\circ}C} = \frac{(23.2084 - 12.6847) * (0.99738)}{(23.1796 - 12.6847)}$$

$$\rho_{79^{\circ}C} = 1.00012 \frac{g}{ml}$$

La densidad del agua sufre cambios mínimos en su recorrido a lo largo de la piscina de oxidación, cambios debidos a la variación de temperatura del agua, estas variaciones son apreciables solo durante las descargas de los efluentes, luego de las descargas la temperatura del agua se regula en toda la piscina, las aguas que están en la superficie permanecen más cálidas que las del fondo con temperaturas que oscilan entre los 22°C y 24°C. a lo largo del día y dependiendo de las condiciones climáticas del AI.

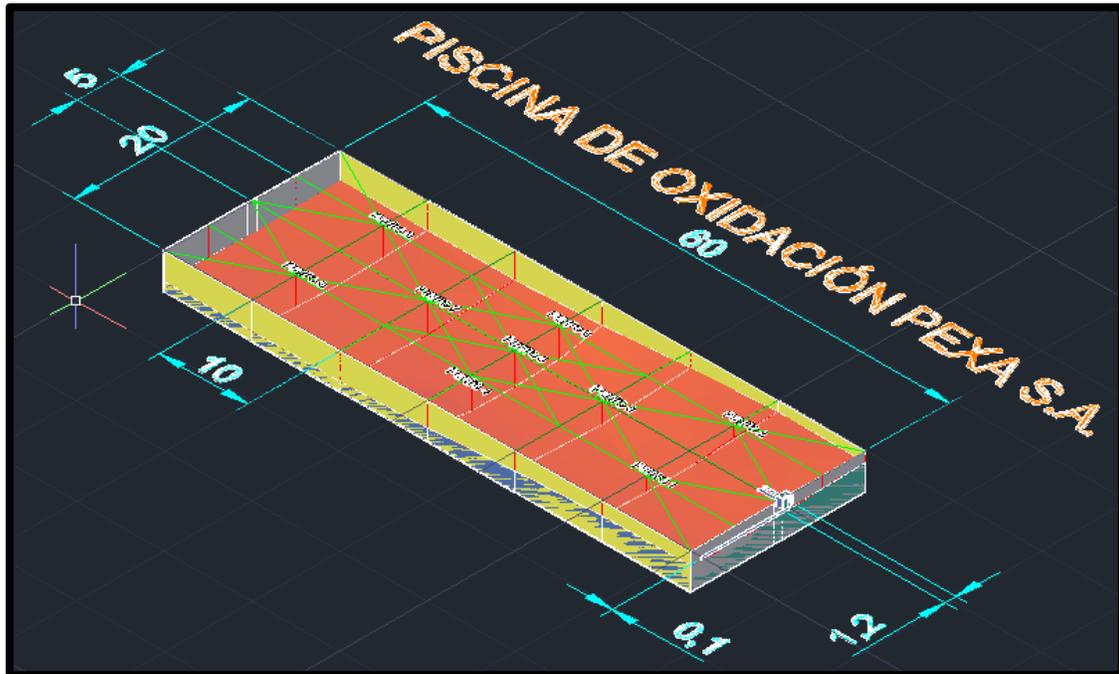
### **3.8. Esquema 3D del Dimensionamiento de la Piscina de Oxidación**

La representación gráfica del sistema depurador de las descargas de la Extractora realizada con la ayuda de AutoCAD 2015 (Figura N° 3-4) incluye además el diseño del perfil aproximado del fondo del sistema, y la cantidad de sedimentos y lodos acumulados con las mediciones hechas en el campo. Se puede apreciar en la figura que al interior de la piscina los sedimentos se acumulan en mayor medida cerca de los bordes y sobretodo en la orilla donde el sistema de tuberías descarga los efluentes, el perfil de lodos disminuye su cantidad a medida que se aleja de los bordes y de la tubería de descarga.

El esquema incluye también la ubicación de la trampa de grasa tal y como se halla construida en el campo además de la grilla diseñada para la toma de medidas, muestras y la ubicación de los 9 puntos muestreados.

Gracias a las funciones de cálculo de cuerpos sólidos que vienen incluidas dentro de AutoCAD 2015, se puede estimar el volumen aproximado que ocupan los sedimentos depositados en el fondo de la piscina de oxidación cuyo valor es de 1204.6071m<sup>3</sup>.

**Figura N° 3-4:** Dimensionamiento 3D de la piscina de oxidación de PEXA S.A.



Fuente: Javier Basantes

### 3.9. Resultados del Transporte de Contaminantes con visual MODFLOW

La simulación del transporte de sustancias contaminantes dentro de Visual MODFLOW requirió del uso del módulo MT3DMS, Modflow es capaz de establecer la estructura tridimensional del área de estudio y reproducir el flujo de las aguas subterráneas; pero necesita que el módulo de transporte MT3DMS realice sus propios cálculos en base a la concentración y evolución del contaminante a través del tiempo. La ejecución de Modflow y MT3DMS requirió el ingreso de varios parámetros que tienen relación directa con la conductividad hidráulica, la densidad y la porosidad del suelo en el que se asienta la Extractora. A continuación se presenta una síntesis de los parámetros requeridos.

#### 3.9.1. Parámetros de entrada

##### Conductividad en el medio estratificado.

El suelo de la Extractora PEXA S.A. presenta cuatro capas estratificadas dentro de un espesor aproximado de 15m, por tanto el valor de la conductividad debe ser estimado para el espesor total del medio utilizando dos fórmulas que permiten hallar la conductividad equivalente horizontal y vertical a las capas es decir la conductividad paralela y perpendicular del medio. (SÁNCHEZ. 2012)

**Tabla N° 3-18:** Conductividad Hidráulica de acuerdo al material

Medio Sedimentario	Valores de K (m/día)
Grava	25 a 2500
Grava con Arena	-
Arena Gruesa	0.1 a 600
Arena Media	0.1 a 50
Arena Fina	0.02 a 20
Arena Arcillosa	0.001 a 7
Limo Arenoso	10 <sup>-4</sup> a 4
Limo Arcilloso	10 <sup>-6</sup> a 4*10 <sup>-4</sup>
Arcilla inalterada	10 <sup>-7</sup> a 2*10 <sup>-4</sup>

Realizado por: Javier Basantes.

Fuente: Domenico & Schwartz, 1998.

**Flujo paralelo a las capas:**

$$K_h = \frac{(\sum K_i * b_i)}{B}$$

$$K_h = \frac{(5.934E - 6 * 1.5) + (5.93E - 5 * 4.5) + (5.93E - 4 * 4) + (5.93E - 3 * 5)}{15}$$

$$K_h = 2.15E - 3 \frac{m}{seg}$$

**Flujo perpendicular a las capas:**

$$K_v = \frac{B}{\left(\sum \frac{b_i}{K_i}\right)}$$

$$K_v = \frac{15}{\left(\frac{1.5}{(5.934E - 6)}\right) + \left(\frac{4.5}{(5.93E - 5)}\right) + \left(\frac{4}{(5.93E - 4)}\right) + \left(\frac{5}{(5.93E - 3)}\right)}$$

$$K_v = 4.46E - 5 \frac{m}{seg}$$

**Coefficiente de Almacenamiento por espesor (Ss):**

En Visual Modflow las capas se pueden definir como libres (solo la capa superior), confinadas y semiconfinadas. Dentro de PEXA S.A. se tratarán las capas como semiconfinadas por tratarse de una

zona con alto intercambio entre las aguas subterráneas y superficiales. El valor de  $S_s$  para el área de estudio será:

$$S_s = \frac{0.03}{15m}$$

$$S_s = 2E - 3 \frac{1}{m}$$

El valor de 0.03 adimensional se utiliza en Modflow para definir el valor total de todo el espesor en aquellas capas libres este valor varía entre 0.03 a 0.05 para acuíferos libres y depende también de la porosidad eficaz. (SÁNCHEZ. 2012)

### Porosidad Total y Eficaz:

Los datos de entrada corresponden a la capa superficial, una vez diseñada la grilla de trabajo los valores de porosidad variarán en función del material constituyente de cada capa como sigue:

**Tabla N° 3-19:** Valores estimados de porosidad según el material

Material	Porosidad Total (%)	Porosidad Eficaz (%)
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas Finas y Limosas	20 a 50	10 a 28
Arena Gruesa bien clasificada	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Esquisto Intacto	1 a 10	0.5 a 5
Esquisto fracturado/alterado	30 a 50	-
Arenisca	5 a 35	0.5 a 10
Calizas dolomias no carstificadas	0.1 a 25	0.1 a 5
Calizas dolomias carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas igneas metamórficas sin fracturar	0.01 a 1	0.0005
Rocas igneas metamórficas fracturadas	1 a 10	0.00005 a 0.01

**Realizado por:** Javier Basantes.

**Fuente:** Sanders, 1998.

**Tabla N° 3-20:** Porosidad Total y Eficaz para el diseño de los modelos de transporte

Estratos	Porosidad Total (%)	Porosidad Eficaz (%)
S1	50	3
S2	43	11
S3	40	25
S4	35	30

**Realizado por:** Javier Basantes

### Recarga y Evapotranspiración:

Los valores de recarga y evapotranspiración actúan sobre la superficie del terreno aportándole y quitándole agua respectivamente. Los datos tienen que ver con la precipitación y evaporación anual registradas por la estación meteorológica La Concordia, son valores aproximados pero suficientes para el modelamiento de la pluma de contaminación que ocurre dentro de la Extractora.

**Tabla N° 3-21:** Recarga y Evapotranspiración para el diseño del modelo

Tipo	Valores (mm/año)
Recarga	3554
Evapotranspiración	760

Realizado por: Javier Basantes

### Profundidad de Extinción:

Es un parámetro que se refiere a la profundidad máxima que pueden alcanzar las raíces de la vegetación del sector, la profundidad determina el alcance de la absorción que tiene la cubierta vegetal que para el caso de la Extractora PEXA S.A. es de 50 centímetros y es la profundidad que alcanzan las raíces de los cultivos de palma africana que rodean la Extractora.

### Dispersividad:

El cálculo del valor de dispersividad se realizó en base a la fórmula que correlaciona datos empíricos que tienen que ver con la longitud que recorre el flujo de las aguas descargadas (SÁNCHEZ. 2012):

$$D_L = 0.83(\log L)^{2.414}$$

$$D_L = 0.83(\log 370)^{2.414}$$

$$D_L = 8.09m.$$

El valor de  $L=370m$  tiene que ver con el área de trabajo dentro de Visual MODFLOW y corresponde a la distancia entre las coordenadas  $X_{min}$ , y  $X_{max}$  del modelo. Este es el valor de la Dispersividad dinámica longitudinal que Visual MODFLOW reconoce, en su ventana de entrada, para las dispersividades Horizontal y Vertical el software determina por defecto valores correspondientes al inverso de la Dispersividad longitudinal.

**Tabla N° 3-22:** Dispersividades aplicables al modelo de transporte.

Dispersividad	Valor (m)
Longitudinal ( $D_L$ )	8.09
Horizontal ( $D_H$ )	0.13
Vertical ( $D_V$ )	0.13

Realizado por: Javier Basantes

Los valores que se ingresan en la ventana de entrada funcionan para todo el modelo de estudio, dependiendo de la complejidad del acuífero y sus estratos estos valores pueden ser editados en cada capa. En el caso de la Extractora los valores de dispersividad se han mantenido fijos en todo el recorrido.

#### **Coefficiente de Difusión ( $D_m$ ):**

Este valor depende exclusivamente de la clase iones disueltos en el agua de la descarga, los metales tendrán valores que varían entre  $1E-9$  a  $9E-9$  ( $m^2/s$ ) (LI & GREGORY. 1999), y los compuestos de origen orgánico tienen valores que varían entre  $1.1E-10$  a  $8.3E-10$  ( $m^2/s$ ) (COHEN & MERCER. 1993 p.363).

De esta forma el valor del coeficiente de difusión para cada compuesto se encontrará dentro de los límites asignados.

#### **Densidad Aparente:**

Visual MODFLOW tiene ajustada la densidad aparente en un valor por defecto, este valor puede ajustarse dependiendo de la porosidad del suelo para las capas inferiores del área de estudio:

**Tabla N° 3-23:** Relación entre porosidad y densidad aparente del suelo

Estratos	Porosidad Total (%)	Densidad Aparente ( $Kg/m^3$ )
S1	50	1350
S2	43	1590
S3	40	1640
S4	35	1750

Realizado por: Javier Basantes

Fuente: Thomson & Troeh, 2002.

#### **Sorción:**

Al momento de activar el módulo MT3DMS se pueden ajustar modelos de sorción para esto se requieren de dos datos de entrada. El primero es la constante de adsorción de Langmuir, que depende

del contaminante a ser analizado y su concentración. El segundo es la densidad aparente del suelo, de ellos solo la densidad puede ser ajustada al momento del desarrollo del modelo de simulación.

### Procesos de reacción de primer orden irreversible:

Se incluyen dos valores que dependen de la conductividad hidráulica general y el espesor del acuífero para las fases móvil o disuelta, e inmóvil o sorbida del terreno.

**Tabla N° 3-24:** Valores dependientes del espesor estudiado dentro del área

Fases	Valor (1/día)
<b>K Móvil</b>	3.96E-6
<b>K Inmóvil</b>	4.39E-7

Realizado por: Javier Basantes

### 3.9.2. Diseño del Modelo

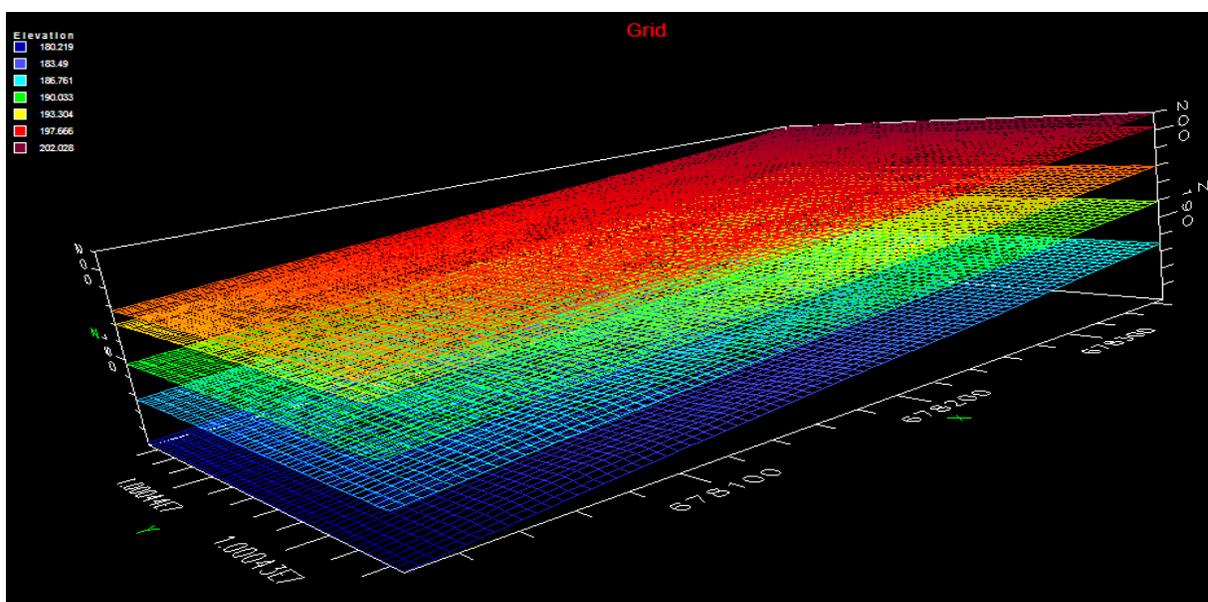
Una vez determinados los valores de entrada se diseñó el modelo tridimensional en el que se asienta el área de estudio, los parámetros de entrada no cambian en el diseño de las capas estratificadas, únicamente lo hacen aquellos valores propios del agente contaminante que se analizará para cada caso.

- Se inició el programa Visual Modflow 2011.1 y Se ajustaron las unidades de medición marcando la opción de simulación de transporte MT3DMS v. 5.2. También se debe marcar la pestaña del tipo de ejecución y ajustarla en régimen variable (Transient Flow), porque este depende del tiempo en que se estudiará la concentración de las especies.
- Luego de ajustar los parámetros de entrada requeridos se diseñó la grilla de trabajo especificando el número de columnas y filas que tiene junto con los valores en el origen y finales de los ejes X, Y, Z. Dando click en el botón Finish, el diseño del área queda terminado y el programa dibuja una grilla de trabajo dentro de los límites o coordenadas determinados en la ventana final del diseño, junto con el número de capas que tiene el modelo.
- A este punto del diseño de la grilla de trabajo, el modelo creado aún no refleja la inclinación del terreno ni las cotas de altura. Visual Modflow permite importar los datos de las coordenadas tomadas y las interpreta como valores X, Y y Z y así dibujar la inclinación de la zona. La extractora PEXA S.A. se asienta sobre un terreno mayoritariamente plano cuya cota superior de 202msnm e inferior de 197msnm fueron diseñadas al momento de importar las coordenadas dentro de Visual Modflow, estas coordenadas ya definidas corresponden solo a la superficie del terreno, es decir en la capa superficial, para otorgarle al modelo una inclinación en todos los

estratos es necesario asignar valores geográficos X, Y, Z a cada capa del modelo, esto se consiguió variando los valores de la coordenada Z de acuerdo al espesor que cada capa tiene e importándolas de acuerdo a su posición (X e Y) dentro del modelo.

En la **Figura N° 3-5** se aprecia la inclinación natural que cada capa presenta encontrándose la altura máxima de la capa superior (S1) a 202msnm y la altura mínima de la capa inferior (S4) a 180msnm. La topografía del AID en la que funciona la Extractora es predominantemente plana su cota superior se encuentra a 202msnm y la inferior registrada a 197msnm.

**Figura N° 3-5:** Diseño estratigráfico y georreferenciado del lugar con Visual MODFLOW.



Fuente: Javier Basantes

Una vez terminado el diseño del área de trabajo, se otorgan valores de densidad aparente y porosidad efectiva para cada una de las capas. También se colocó el punto de emisión de las descargas contaminantes en las coordenadas determinadas que coinciden con la ubicación de la Laguna de oxidación y determinando el intervalo de tiempo en el que la concentración del contaminante se va a evaluar (10 años). Finalmente se asignó un Constant Head o nivel constante que actúa como el abastecimiento de agua en los límites de la ubicación de la laguna de oxidación.

- Una vez ingresado los parámetros se añade una herramienta conocida como pozo de observación cuyo propósito es mostrar la evolución de los niveles calculados por Modflow y en el caso del uso

del módulo MT3DMS el pozo registra los niveles de concentración del contaminante. Lo que permite crear gráficas posteriores a la ejecución del modelo simulado.

- Se definieron las capas creadas como libre la primera y las otras tres como semiconfinadas en la opción Layers del menú Modflow 2000, Y así el modelo ha quedado calibrado con todos los parámetros necesarios para su ejecución.

La ejecución de la simulación demora un poco debido a la cantidad de interacciones que se deben procesar, además la importación de datos georreferenciados ralentizan el motor de resolución. Una vez terminada la ejecución de Modflow y MT3DMS se da un click en la opción Output de la barra de herramientas para la visualización e interpretación de los resultados.

### **3.9.3. Plumas de Contaminación estudiadas en la Extractora PEXA S.A.**

La extractora de palma PEXA S.A. entró en funcionamiento en el año de 1990, desde esa fecha el sistema de tratamiento de sus descargas ha recibido mantenimiento periódico sobre todo con trabajos de limpieza de la vegetación invasora en los bordes y la siembra de pasto que mantenga fijo el suelo circundante. La pluma contaminante en las coordenadas de descarga fue evaluada en un periodo de tiempo comprendido entre tres meses y diez años, ya que la Extractora realiza trabajos de mantenimiento y limpieza de sus piscinas cada tres o seis meses de acuerdo a la cantidad de las descargas depositadas en sus piscinas oxidativas; y los diez años comprenden una probabilidad temporal para el cierre o rediseño de la planta de tratamientos de las aguas industriales al cumplirse la vida útil de su desempeño. A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis de cada uno de los contaminantes estudiados para la Extractora PEXA S.A.

#### **3.9.3.1. Transporte del Cadmio (Cd).**

La evaluación del transporte del cadmio se debe a que es un elemento utilizado en la producción de fertilizantes fosfatados artificiales que se usan en la industria productora de palma africana como el superfosfato triple (46%  $P_2O_5$ ). Al ser aplicado en las plantaciones una porción termina en el suelo y el resto terminará en las aguas superficiales. El cadmio es absorbido por los sedimentos desechados al final del proceso de extracción de aceite. Los lodos ricos en Cadmio pueden contaminar aguas y suelos superficiales y subterráneos. Las afectaciones derivadas por una concentración anormal de cadmio van desde la acidificación del suelo y la bioacumulación del cadmio en plantas y animales especialmente

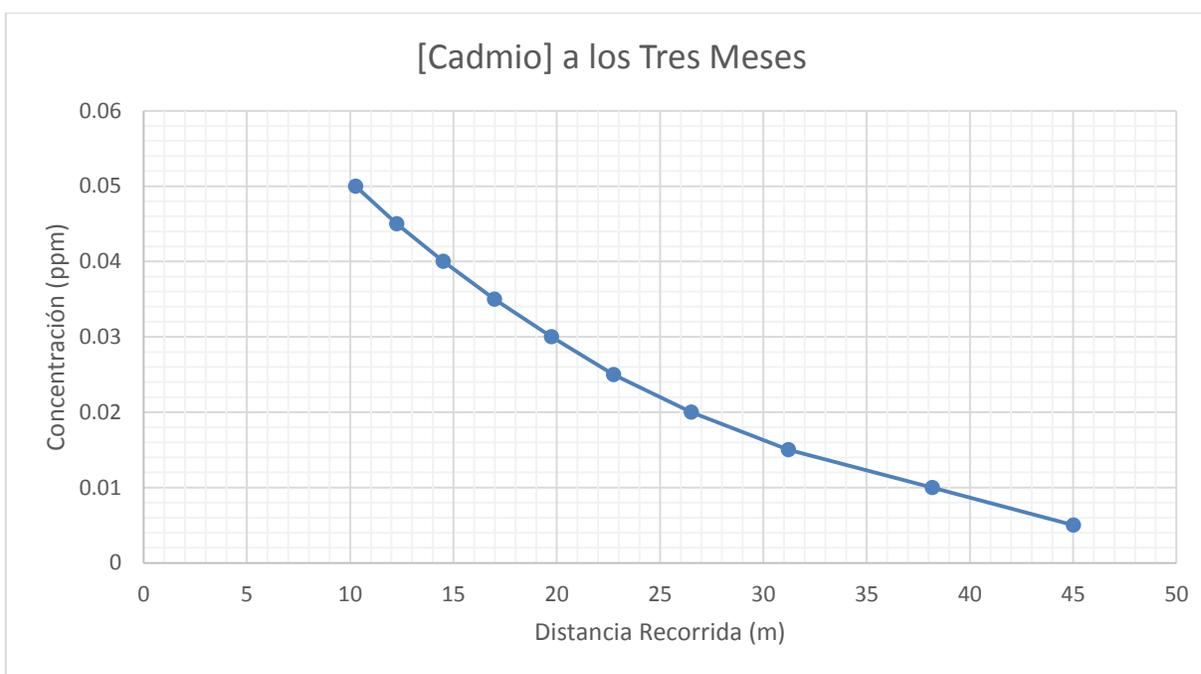
acuáticos de agua dulce como plancton y crustáceos, hasta problemas renales en el mecanismo de filtración de proteínas en personas que se alimentan de plantas y beben agua contaminada con cadmio.

**Tabla N° 3-25:** Traslado del Cadmio a los tres meses

[Cadmio] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.050	10.26	10.26
0.045	1.99	12.25
0.040	2.26	14.51
0.035	2.47	16.98
0.030	2.76	19.74
0.025	3.01	22.75
0.020	3.76	26.51
0.015	4.71	31.22
0.010	6.97	38.19
0.005	6.82	45.01

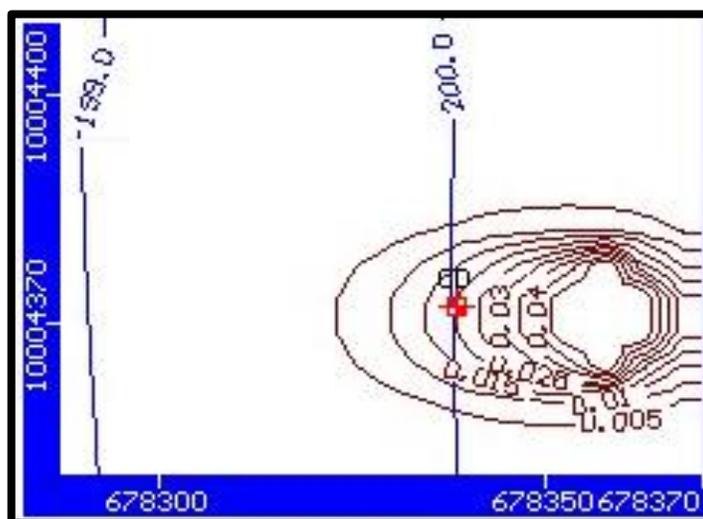
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-3:** Concentración de Cadmio vs distancia recorrida a los 3 Meses



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-6:** Pluma contaminante del Cadmio a los Tres Meses



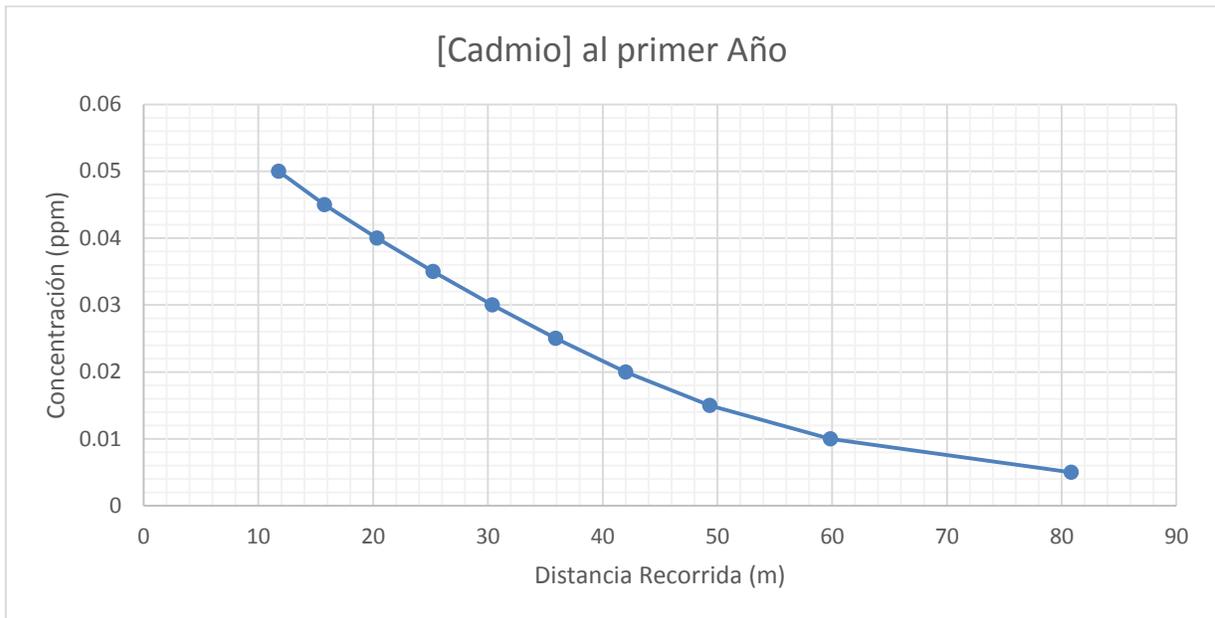
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-26:** Traslado del Cadmio en el primer año

[Cadmio] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.050	11.76	11.76
0.045	4.00	15.76
0.040	4.57	20.33
0.035	4.90	25.23
0.030	5.16	30.39
0.025	5.52	35.91
0.020	6.09	42.00
0.015	7.35	49.35
0.010	10.50	59.85
0.005	20.98	80.83

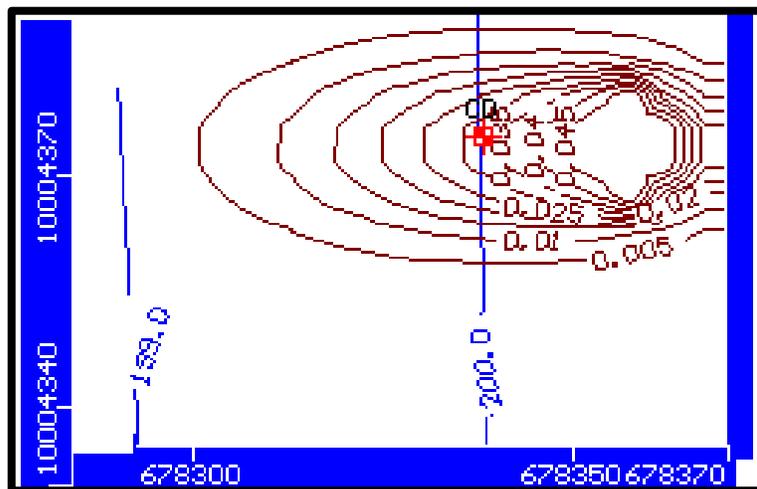
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-4:** Concentración de Cadmio vs distancia recorrida en el primer año



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-7:** Pluma contaminante del Cadmio en el primer año



Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-27:** Traslado del Cadmio a los 5 años

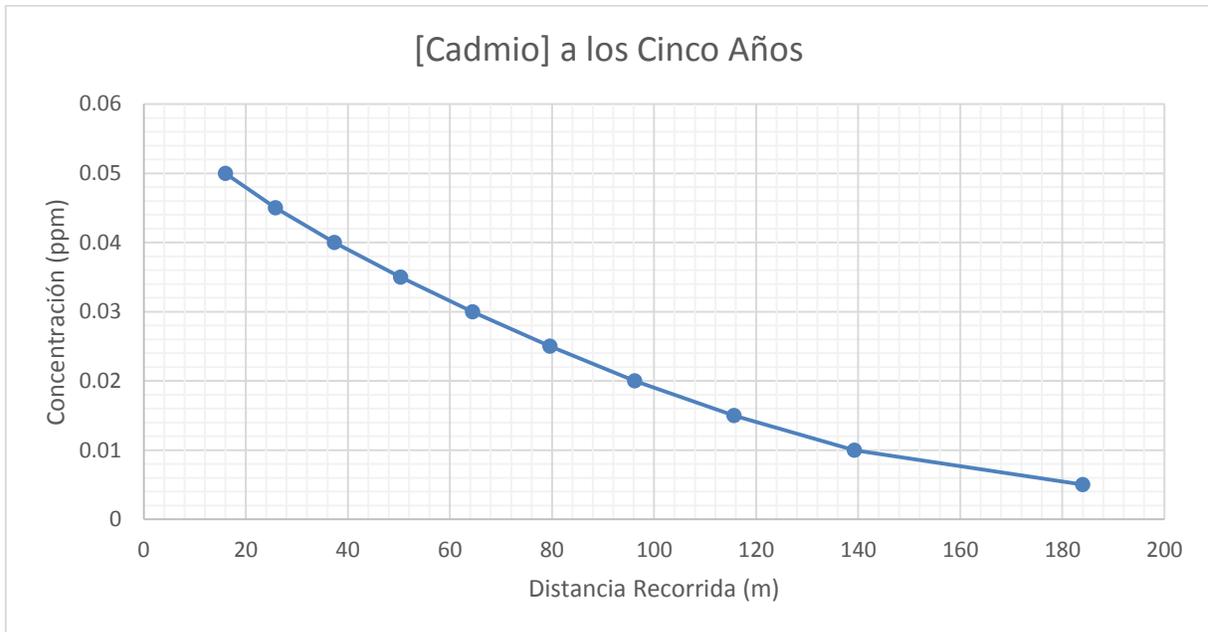
[Cadmio] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.050	16.00	16.00
0.045	9.78	25.78
0.040	11.55	37.33
0.035	12.99	50.32
0.030	14.09	64.41

**Tabla N° 3-27:** Continuación

0.025	15.14	79.55
0.020	16.61	96.16
0.015	19.46	115.62
0.010	23.63	139.25
0.005	44.74	183.99

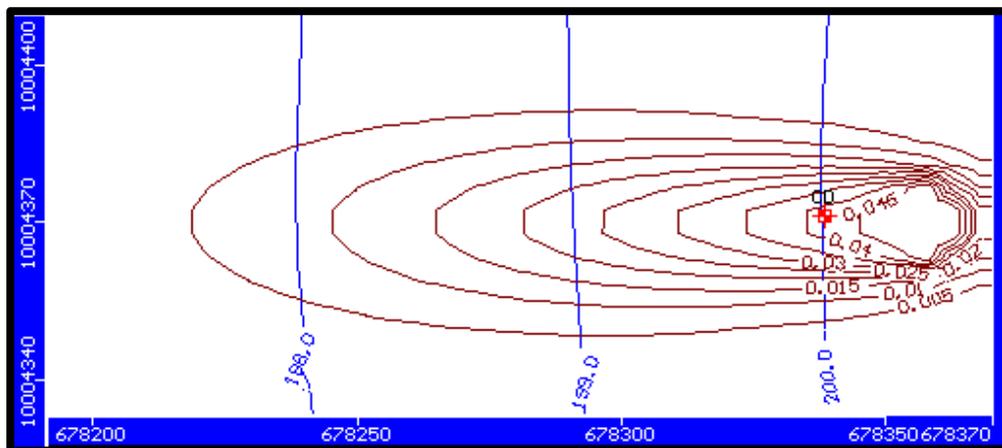
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-5:** Concentración de Cadmio vs distancia recorrida a los 5 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-8:** Pluma contaminante del Cadmio a los cinco años



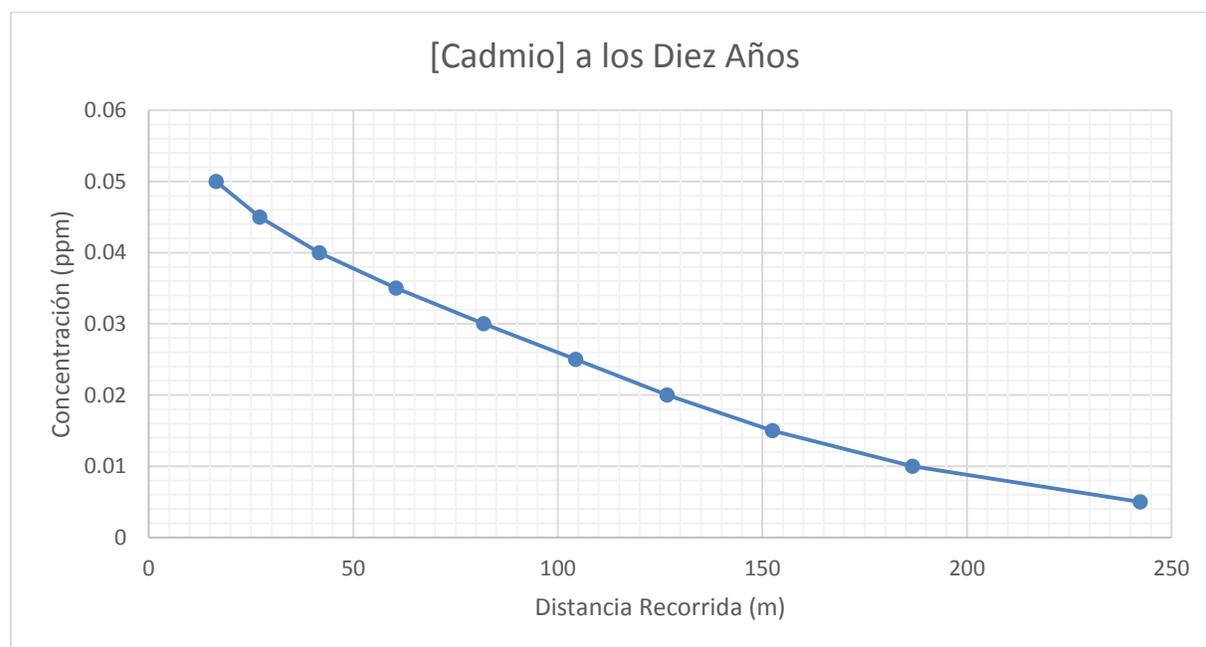
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-28:** Traslado del Cadmio a los 10 años

[Cadmio] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.050	16.44	16.44
0.045	10.68	27.12
0.040	14.61	41.73
0.035	18.76	60.49
0.030	21.35	81.84
0.025	22.50	104.34
0.020	22.33	126.67
0.015	25.78	152.45
0.010	34.29	186.74
0.005	55.61	242.35

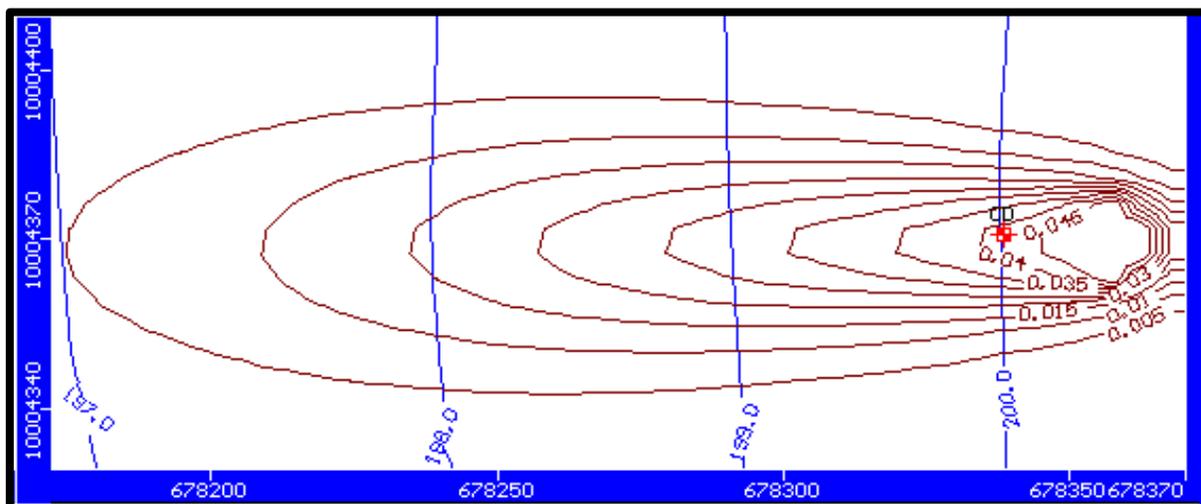
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-6:** Concentración de Cadmio vs distancia recorrida a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

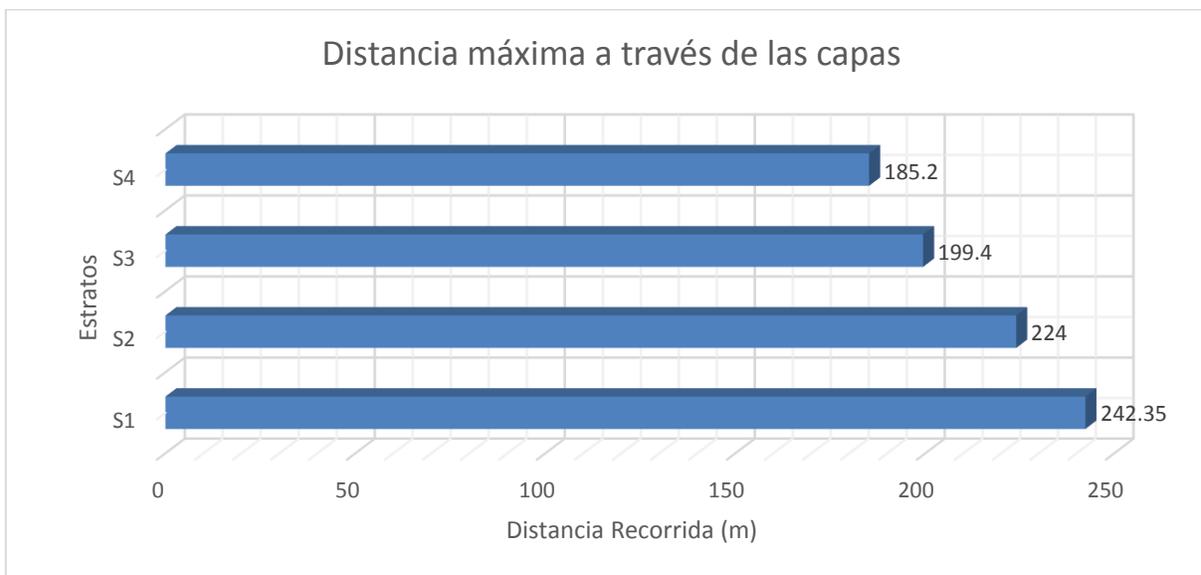
**Figura N° 3-9:** Pluma contaminante del Cadmio a los diez años



Fuente: Javier Basantes

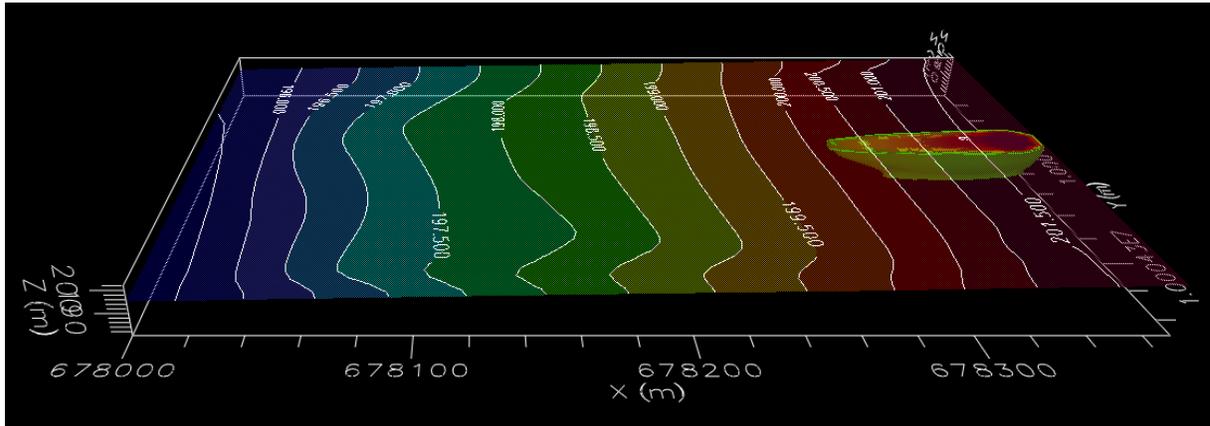
Y la distancia máxima recorrida por el cadmio a través de los estratos durante los diez años es:

**Gráfico N° 3-7:** Distancia máxima del Cadmio a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-10:** Esquema tridimensional georreferenciado del transporte del Cadmio



Fuente: Javier Basantes

### 3.9.3.2. Transporte del Plomo (Pb).

La evaluación del transporte del Plomo se debe a que es un elemento usado como aditivo en los combustibles como la gasolina presentándose como producto de la combustión de los automotores que entran y salen de la extractora y el uso de herramientas mecánicas y equipos que utilizan combustible para su funcionamiento así como en algunos aceites y grasas que se usan para lubricar y refrigerar los equipos, una fuente de plomo es la que se desprende del sistema de tuberías debido a la corrosión de estas llegando así junto con las descargas de las aguas residuales hasta su lugar de tratamiento. El plomo que se desprende de los procesos lubricantes y de combustión se libera hacia la atmósfera como material particulado que eventualmente descenderá incorporándose al agua y suelo generando desequilibrio en el medio. Parte del plomo que se deposita en las aguas superficiales precipitará hasta el fondo incorporándose al subsuelo y llegará hasta los acuíferos contaminando la matriz del suelo junto con las aguas subterráneas, las afectaciones hacia los organismos acuáticos como crustáceos ocurren aún a concentraciones bajas de plomo, además cuando el plomo se transporta hasta los cuerpos de agua degenera el metabolismo del fitoplancton causando alteraciones en su producción de oxígeno y a su vez toda la cadena alimenticia.

**Tabla N° 3-29:** Traslado del Plomo a los tres meses

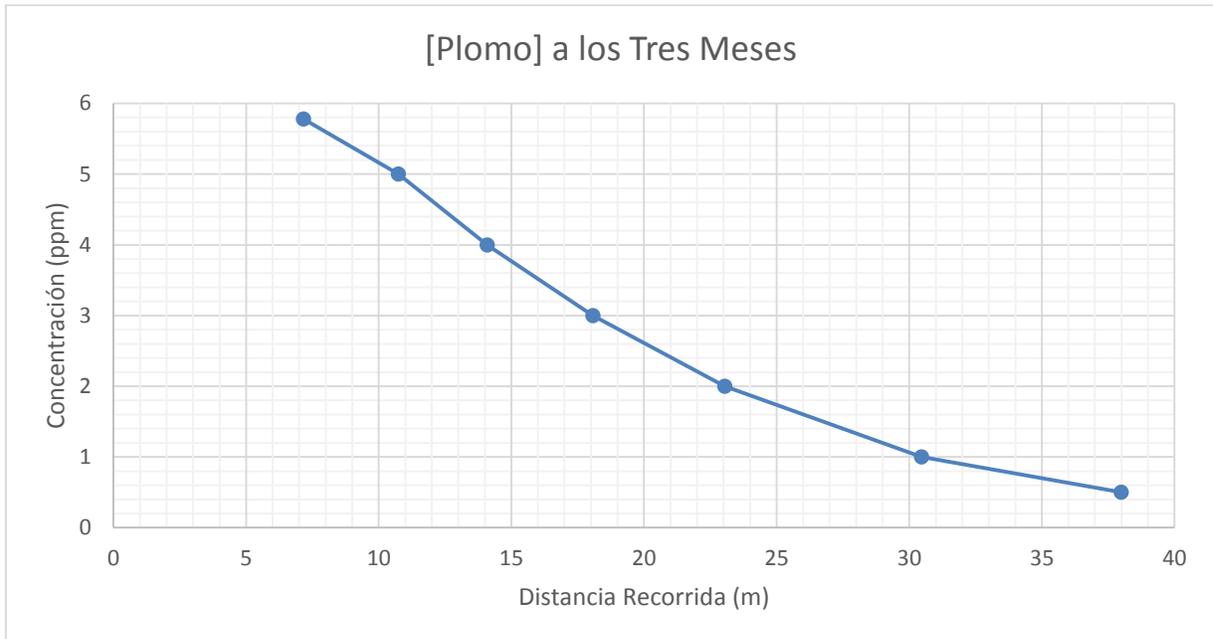
[Plomo] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
5.78	7.16	7.16
5	3.58	10.74
4	3.35	14.09
3	3.98	18.07

**Tabla N° 3-29:** Continuación

2	4.97	23.04
1	7.43	30.47
0.5	7.52	37.99

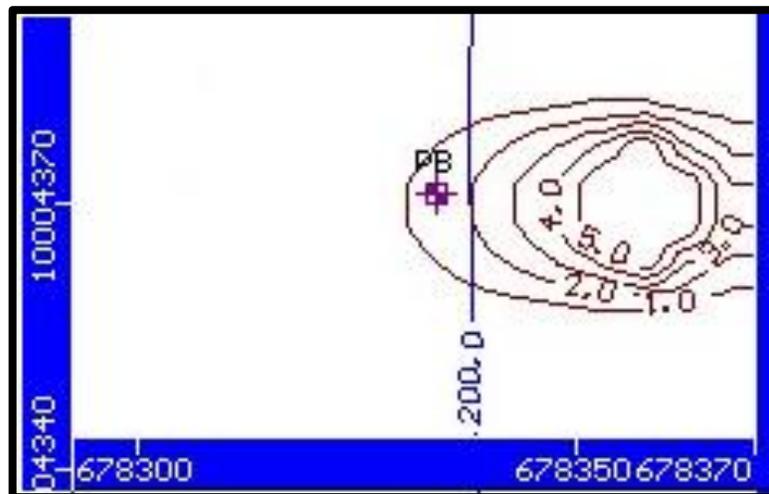
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-8:** Concentración del Plomo vs distancia recorrida a los 3 meses



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-11:** Pluma contaminante del Plomo a los tres meses



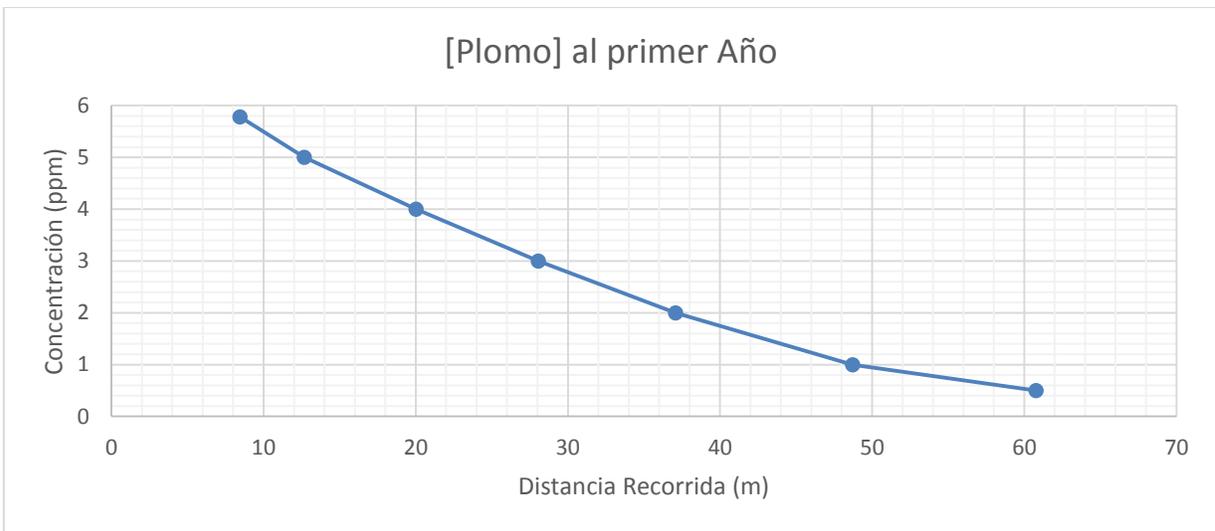
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-30:** Traslado del Plomo en el primer año

[Plomo] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
5.78	8.46	8.46
5	4.23	12.69
4	7.33	20.02
3	8.05	28.07
2	9.01	37.08
1	11.65	48.73
0.5	12.04	60.77

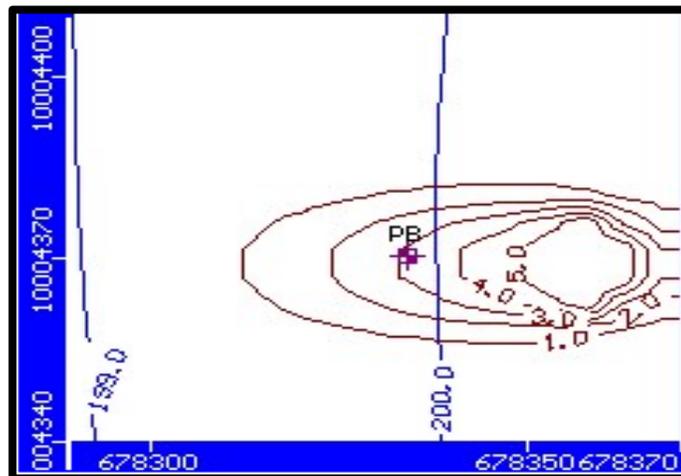
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-9:** Concentración del Plomo vs distancia recorrida en el primer año



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-12:** Pluma contaminante del Plomo al primer año



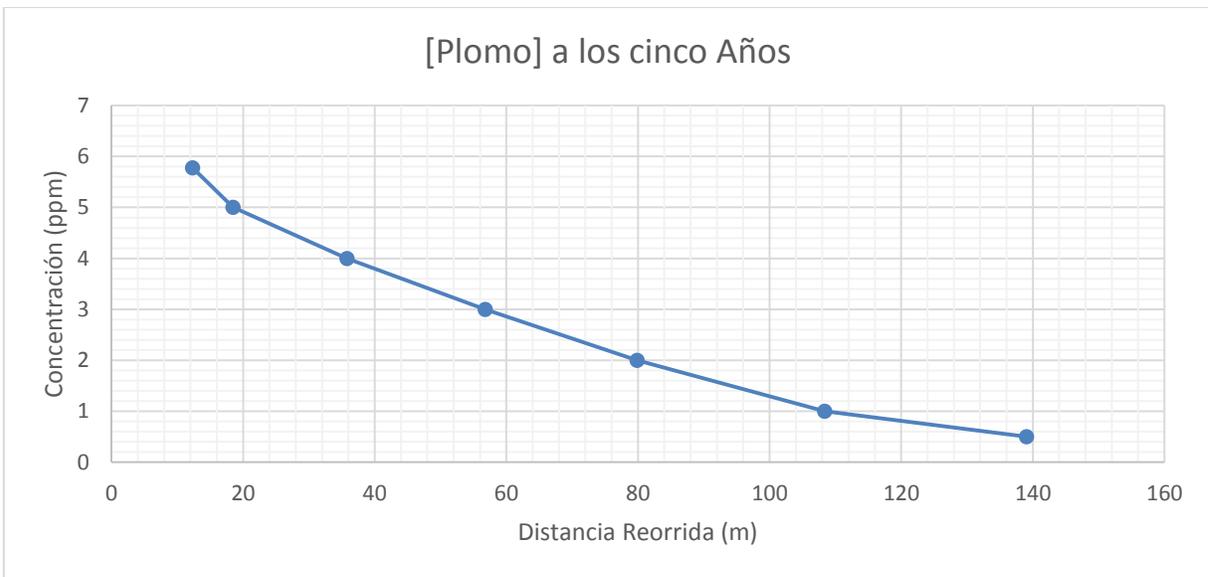
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-31:** Traslado del Plomo a los 5 años

[Plomo] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
5.78	12.32	12.32
5	6.16	18.48
4	17.31	35.79
3	21.01	56.80
2	23.09	79.89
1	28.47	108.36
0.5	30.67	139.03

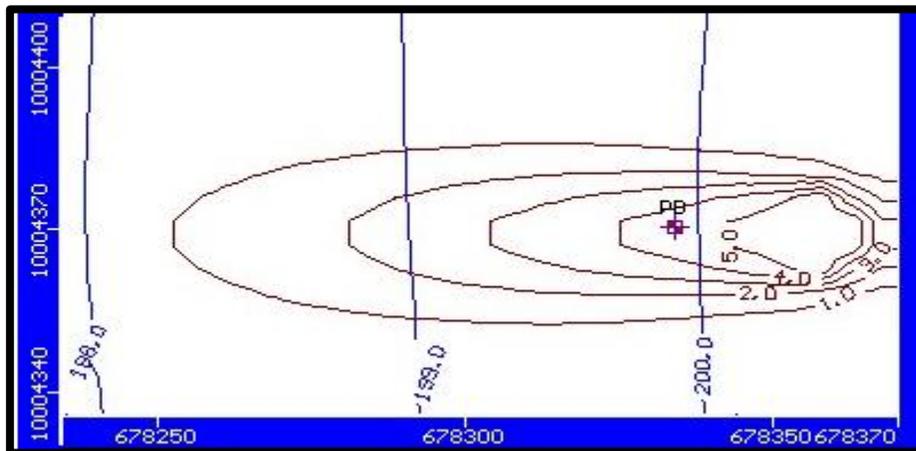
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-10:** Concentración del Plomo vs distancia recorrida a los 5 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-13:** Pluma contaminante del Plomo a los cinco años



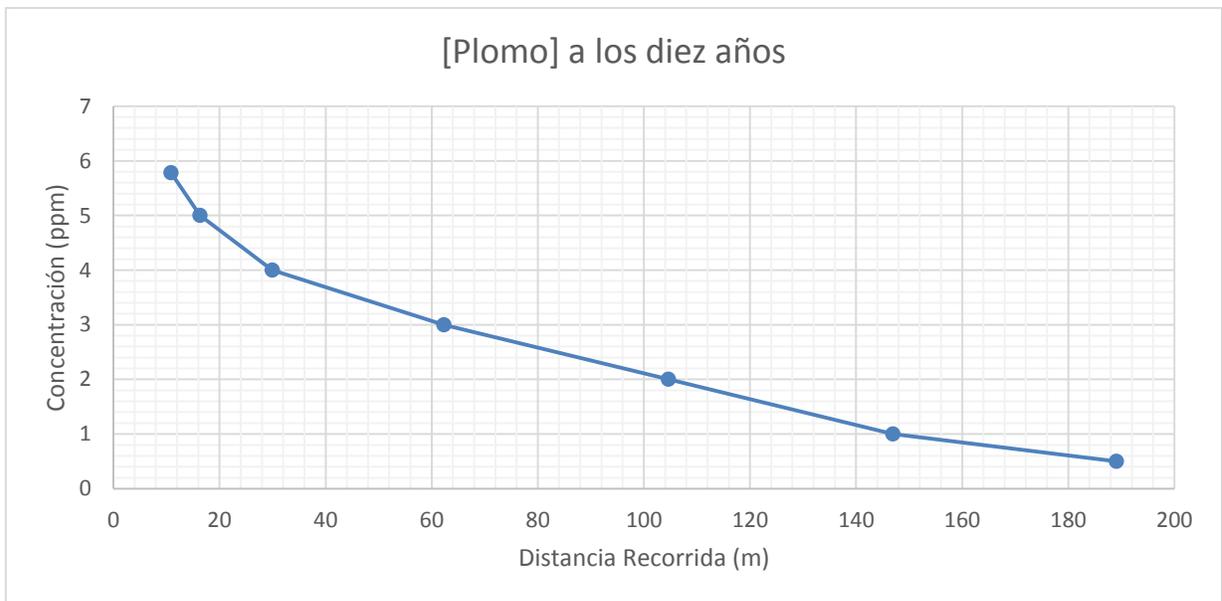
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-32:** Traslado del Plomo a los 10 años

[Plomo] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
5.78	10.86	10.86
5	5.43	16.29
4	13.67	29.96
3	32.31	62.27
2	42.37	104.64
1	42.31	146.95
0.5	42.12	189.07

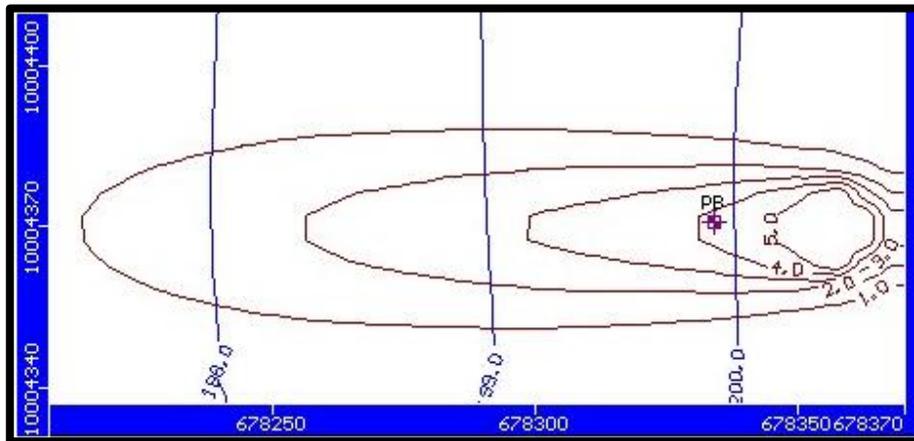
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfica N° 3-11:** Concentración del Plomo vs distancia recorrida a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

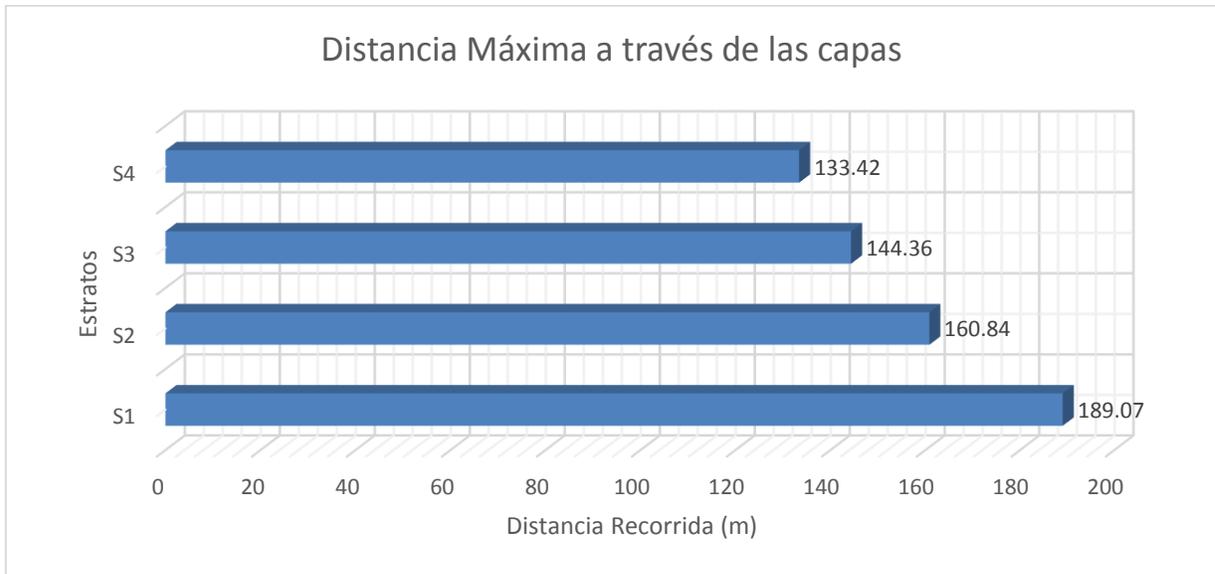
**Figura N° 3-14:** Pluma contaminante del Plomo a los diez años



Fuente: Javier Basantes

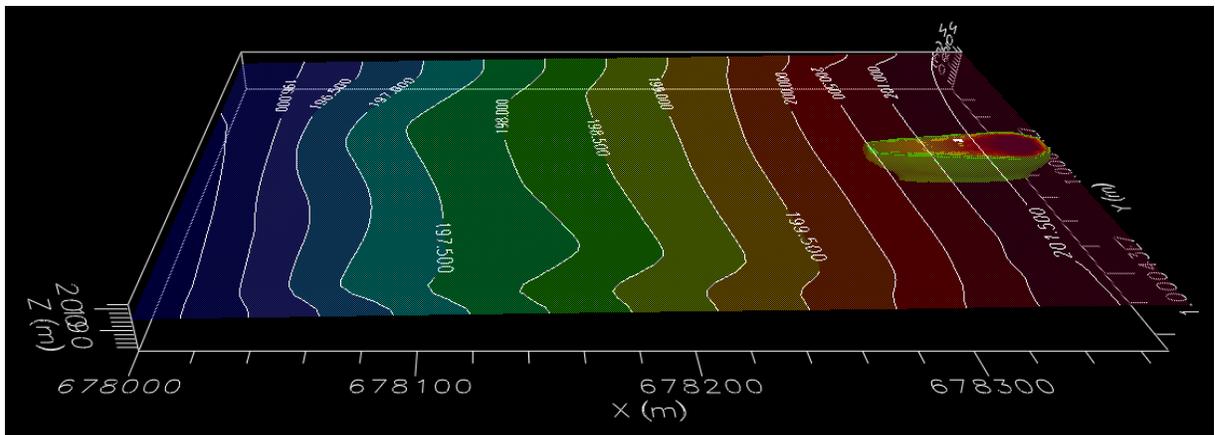
Y la distancia máxima recorrida por el Plomo a través de los estratos durante los diez años es:

**Gráfico N° 3-12:** Distancia máxima del Plomo a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-15:** Esquema tridimensional georeferenciado del transporte del Plomo



Fuente: Javier Basantes

### 3.9.3.3. Transporte del Cromo Total (Cr).

El cromo es un elemento que se encuentra naturalmente en las paredes del suelo y rocas en concentraciones mínimas, el problema del traslado del cromo ocurre cuando en las plantaciones de palma se aplican insecticidas como el Carbofuran y Malathion y fungicidas como Mancozeb en exceso y de forma prolongada, esto provoca la acidificación del suelo haciendo que las plantas absorban

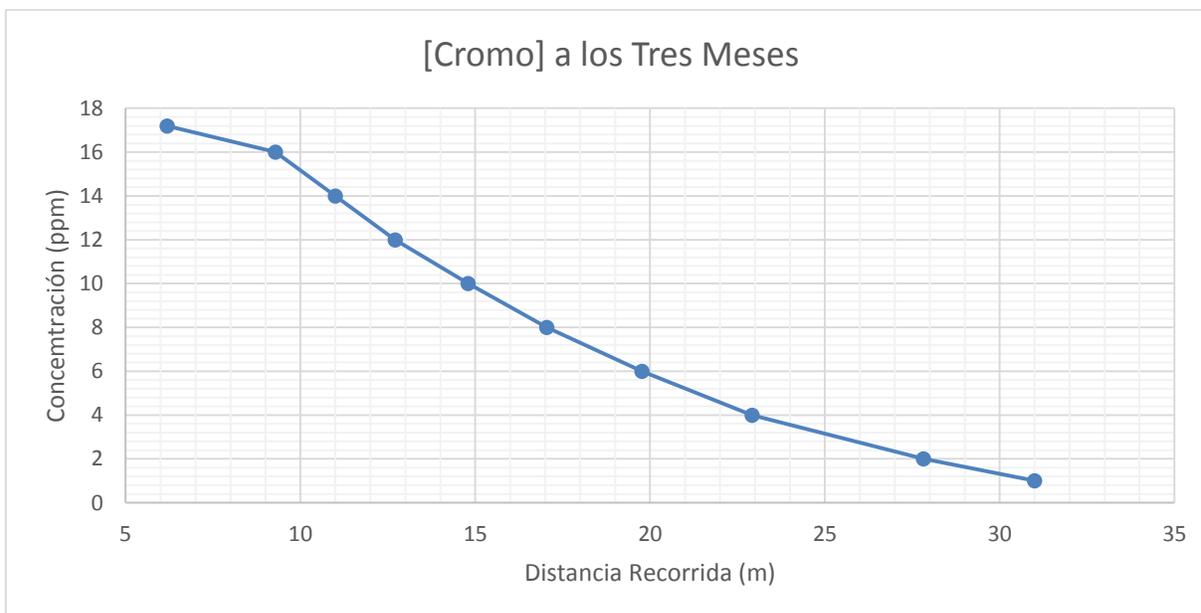
chromo en exceso el mismo que ingresa al proceso de extracción del aceite y luego se descarga en el sistema de tratamiento, el cromo no se disuelve fácilmente en agua por lo que se incorpora a los sedimentos de la piscina de oxidación y es arrastrado junto con el agua que se filtra en la fracción porosa del suelo.

**Tabla N° 3-33:** Traslado del Cromo a los tres meses

[Cromo] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
17.2	6.19	6.19
16	3.10	9.29
14	1.71	11.00
12	1.71	12.71
10	2.09	14.8
8	2.25	17.05
6	2.72	19.77
4	3.15	22.92
2	4.90	27.82
1	3.18	31.00

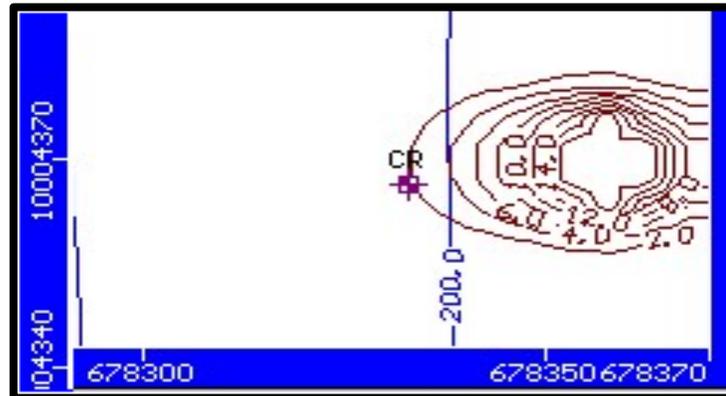
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-13:** Concentración del Cromo vs distancia recorrida a los 3 meses



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-16:** Pluma contaminante del Cromo a los tres meses



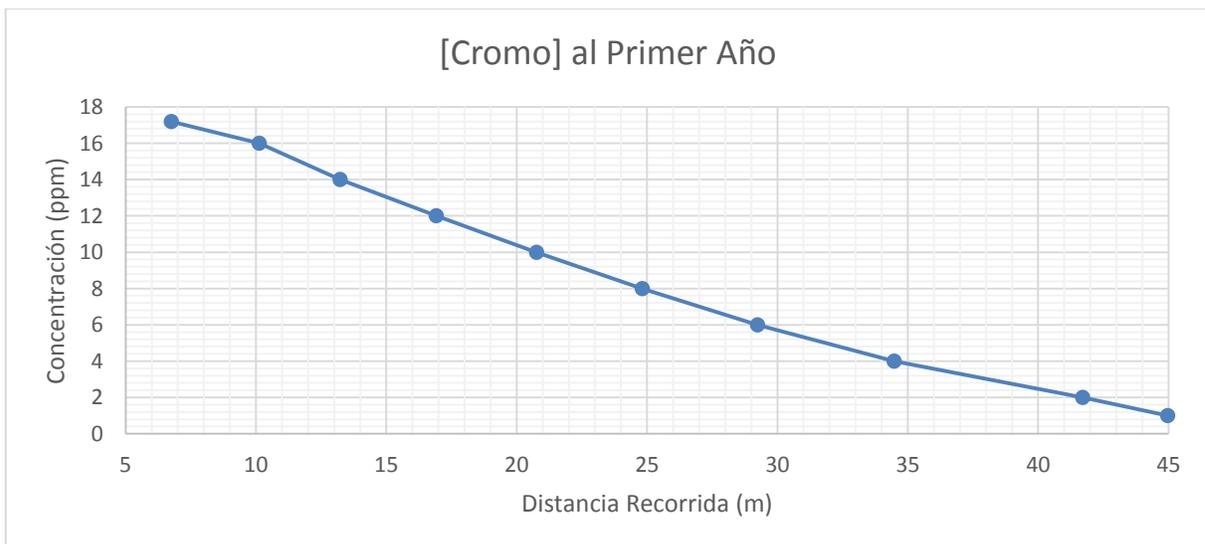
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-34:** Traslado del Cromo en el primer año

[Cromo] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
17.2	6.75	6.75
16	3.37	10.12
14	3.10	13.22
12	3.69	16.91
10	3.85	20.76
8	4.06	24.82
6	4.42	29.24
4	5.24	34.48
2	7.22	41.70
1	3.27	44.97

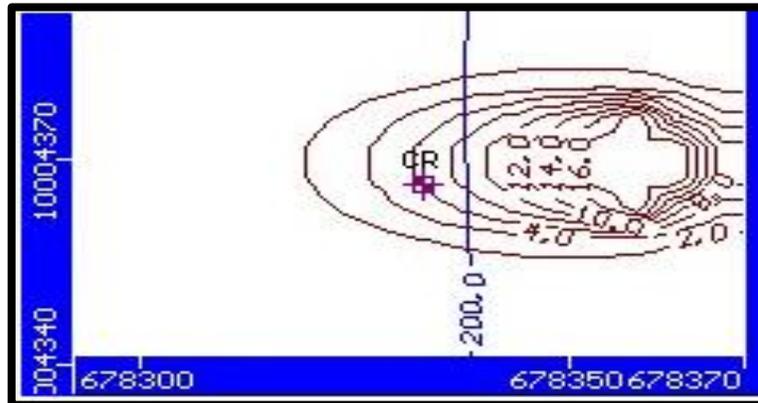
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-14:** Concentración del Cromo vs distancia recorrida en el primer año



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-17:** Pluma contaminante del Cromo en el primer año



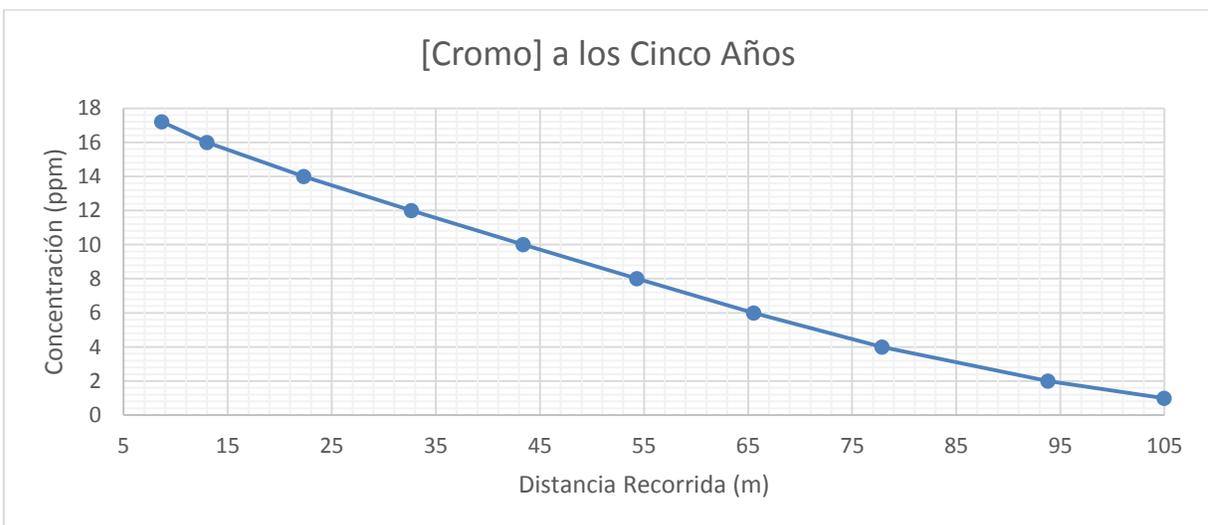
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-35:** Traslado del Cromo a los 5 años

[Cromo] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
17.2	8.67	8.67
16	4.33	13.00
14	9.31	22.31
12	10.33	32.64
10	10.75	43.39
8	10.90	54.29
6	11.24	65.53
4	12.33	77.86
2	15.94	93.80
1	11.18	104.98

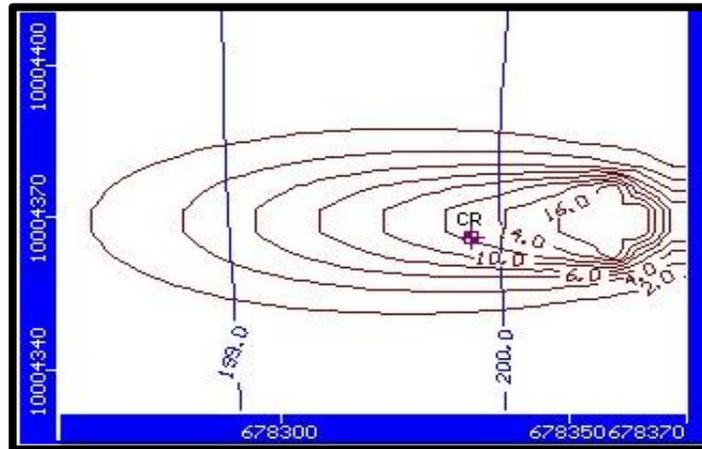
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-15:** Concentración del Cromo vs distancia recorrida a los 5 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-18:** Pluma contaminante del Cromo a los cinco años



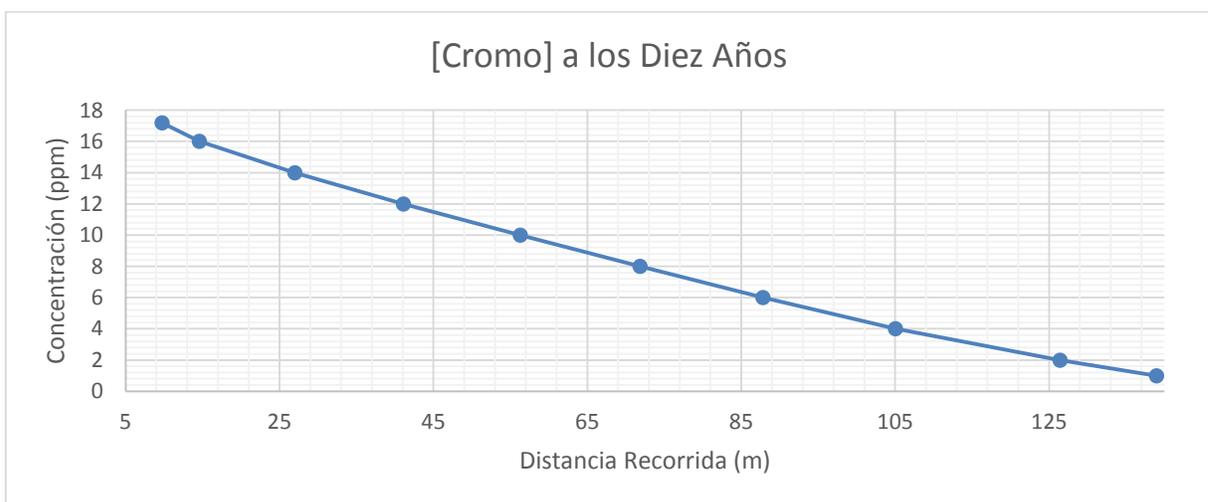
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-36:** Traslado del Cromo a los 10 años

[Cromo] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
17.2	9.72	9.72
16	4.86	14.58
14	12.40	26.98
12	14.13	41.11
10	15.17	56.28
8	15.58	71.86
6	15.95	87.81
4	17.22	105.03
2	21.41	126.44
1	12.53	138.97

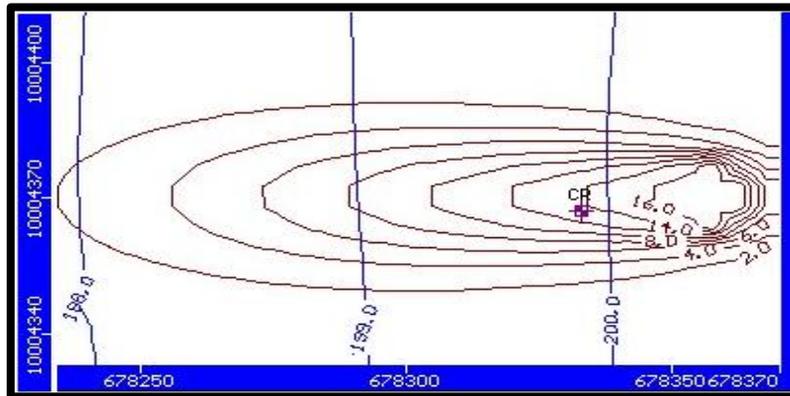
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-16:** Concentración del Cromo vs distancia recorrida a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

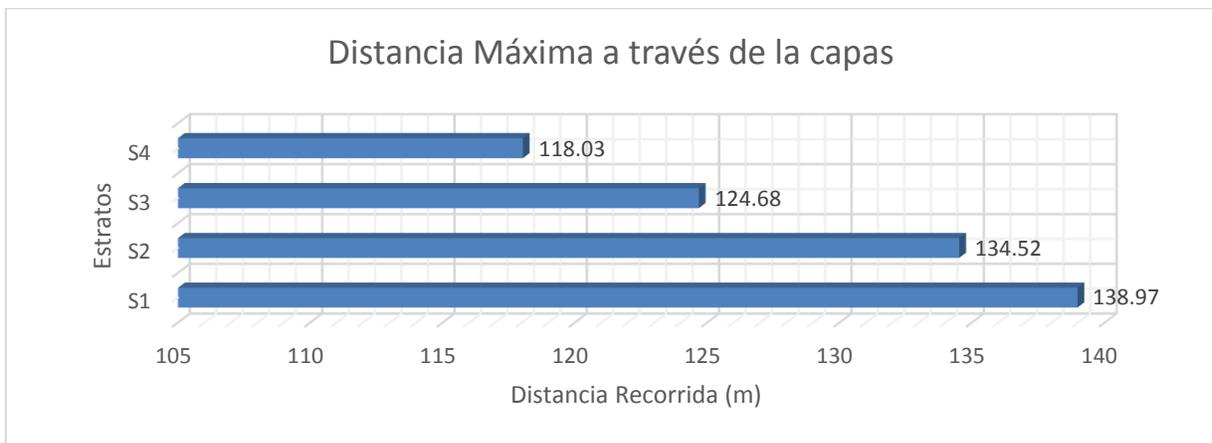
**Figura N° 3-19:** Pluma contaminante del Cromo a los diez años



Fuente: Javier Basantes

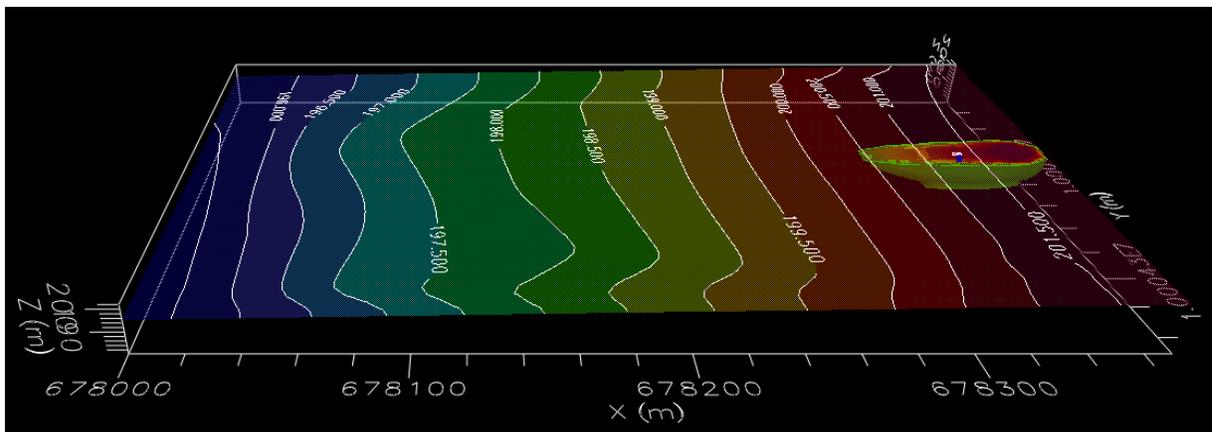
Y la distancia máxima recorrida por el Cromo a través de los estratos durante los diez años es:

**Gráfico N° 3-17:** Distancia máxima del Cromo a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-20:** Esquema tridimensional georreferenciado del transporte del Cromo



Fuente: Javier Basantes

### 3.9.3.4. Transporte del Cobre (Cu).

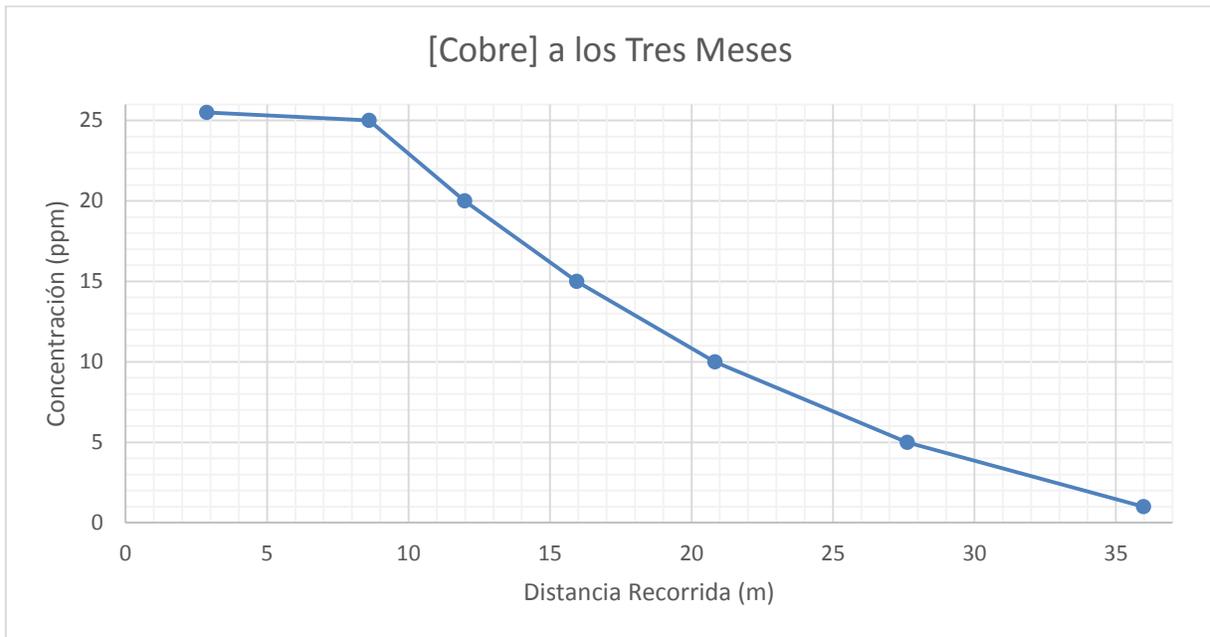
El cobre es un fitosanitario que puede ser aplicado como fungicida, además de ser un nutriente necesario para el desarrollo de los cultivos. La razón para estudiar el transporte del cobre se debe a que los cultivos de palma sufren de la enfermedad llamada “Putridión del Cogollo” causada por un hongo (*Phytophthora sp.*) que se ve favorecido por las condiciones climáticas de la zona. Los palmicultores del sector tratan de controlar esta enfermedad aplicando fungicidas como Mancozeb, Captan y Agrimicin, las épocas en las que esta enfermedad deja de manifestarse se aplica hidróxido de cobre diluido de forma preventiva ya que tiene un amplio rango de acción fungicida; al día de hoy su uso es muy esporádico, el cobre es absorbido e ingresa al interior de la planta y por ende a todo el proceso de extracción hasta terminar las descargas en el sistema de tratamiento. El cobre se incorporará al sedimento y sufrirá procesos de infiltración y transporte junto al agua a través de la fracción porosa suelo. Además, el Sistema de tuberías que conducen las descargas hasta las piscinas de oxidación ha experimentado un largo proceso de corrosión y al momento de las descargas arrastraran consigo el cobre diluido por el agua a alta temperatura aparte que las tuberías permanecen todo el tiempo en el exterior y sometidas a las condiciones ambientales incrementando la corrosión.

**Tabla N° 3-37:** Traslado del Cobre a los tres meses

[Cobre] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
25.5	2.87	2.87
25	5.73	8.60
20	3.38	11.98
15	3.96	15.94
10	4.89	20.83
5	6.79	27.62
1	8.35	35.97

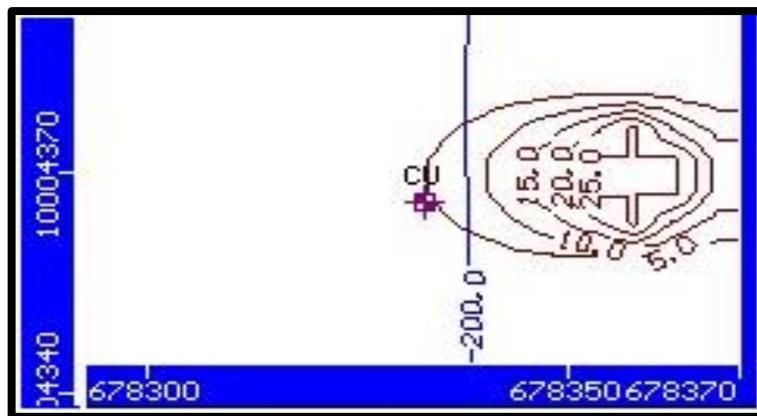
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-18:** Concentración del Cobre vs distancia recorrida a los 3 meses



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-21:** Pluma contaminante del Cobre a los tres meses



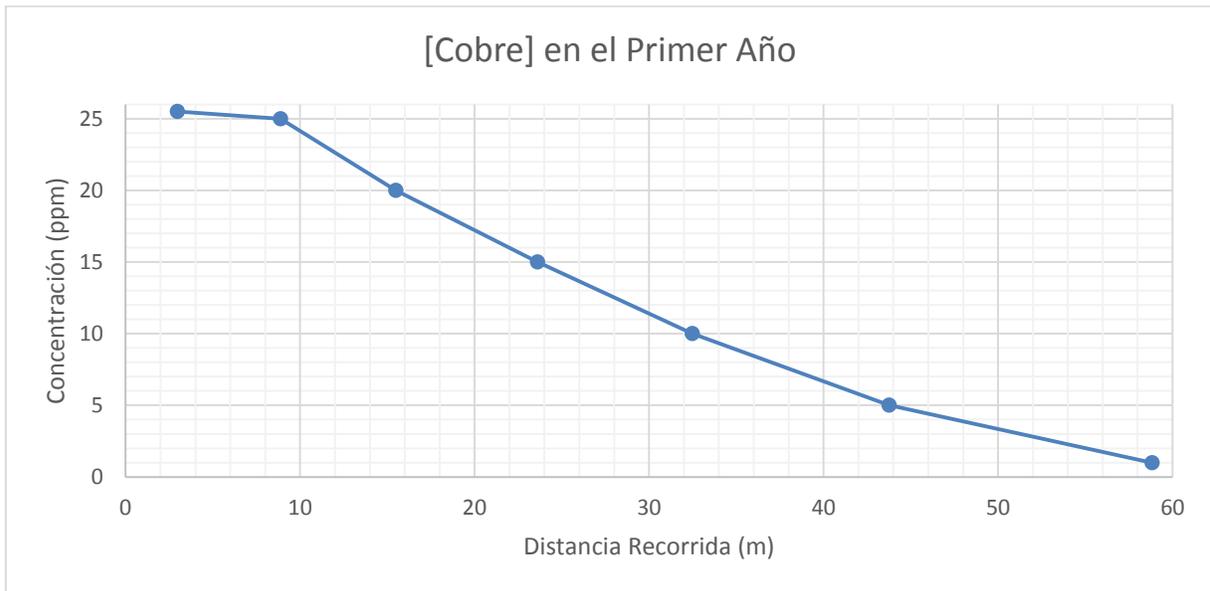
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-38:** Traslado del Cobre en el primer año

[Cobre] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
25.5	2.96	2.96
25	5.92	8.88
20	6.61	15.49
15	8.11	23.6
10	8.88	32.48
5	11.27	43.75
1	15.09	58.84

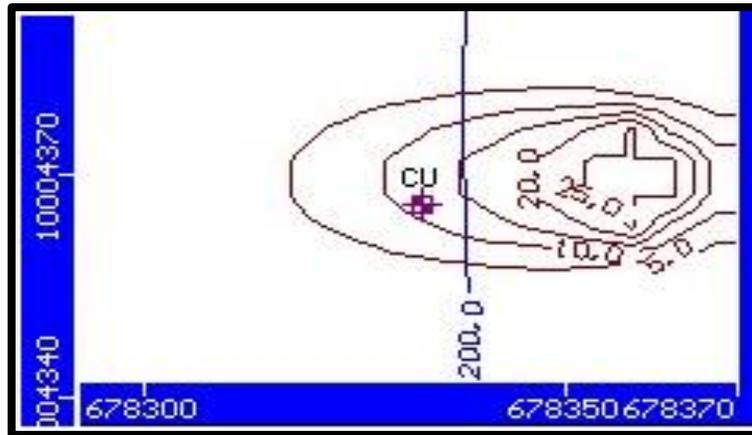
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-19:** Concentración del Cobre vs distancia recorrida en el primer año



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-22:** Pluma contaminante del Cobre en el primer año



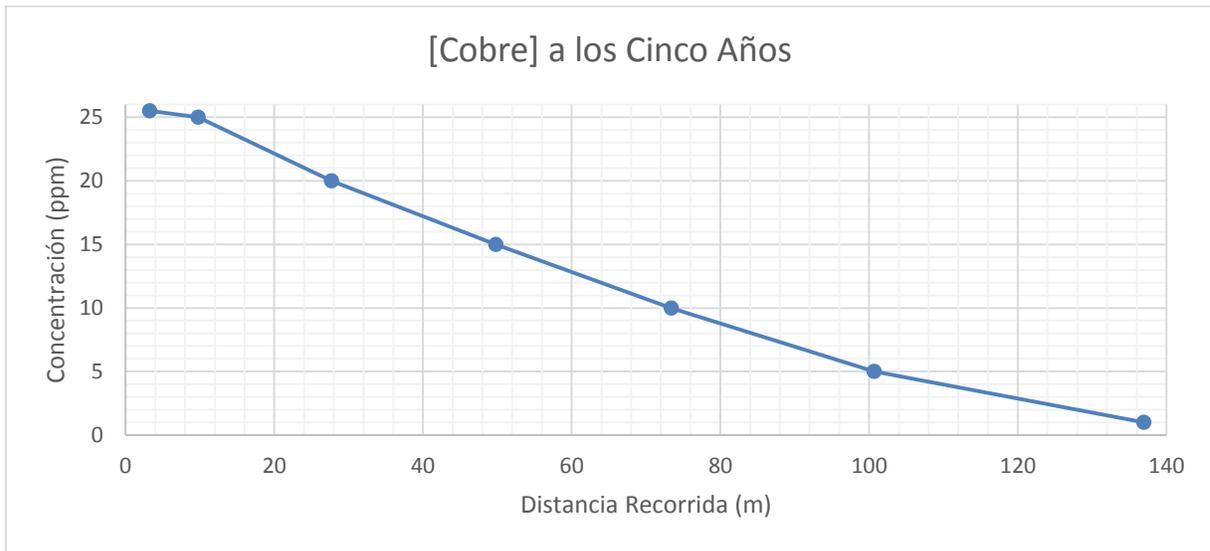
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-39:** Traslado del Cobre a los 5 años

[Cobre] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
25.5	3.24	3.24
25	6.49	9.73
20	17.96	27.69
15	22.12	49.81
10	23.58	73.39
5	27.29	100.68
1	36.29	136.97

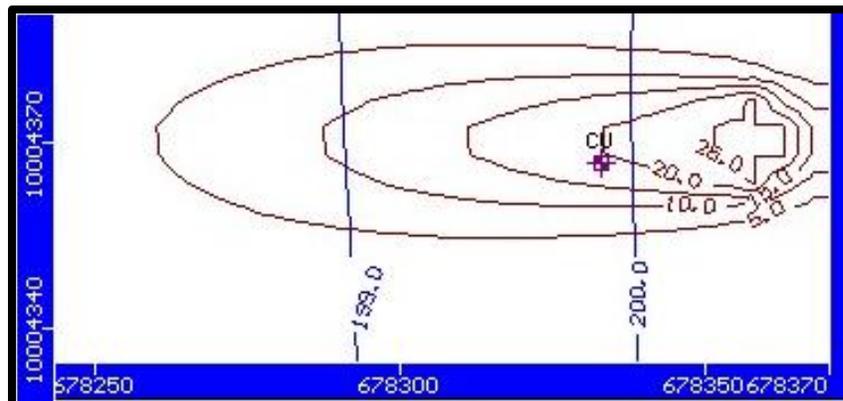
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-20:** Concentración del Cobre vs distancia recorrida a los 5 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-23:** Pluma contaminante del Cobre a los cinco años



Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-40:** Traslado del Cobre a los 10 años

[Cobre] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
25.5	3.38	3.38
25	6.75	10.13
20	23.32	33.45
15	31.86	65.31
10	34.74	100.05
5	37.83	137.88
1	47.33	185.21

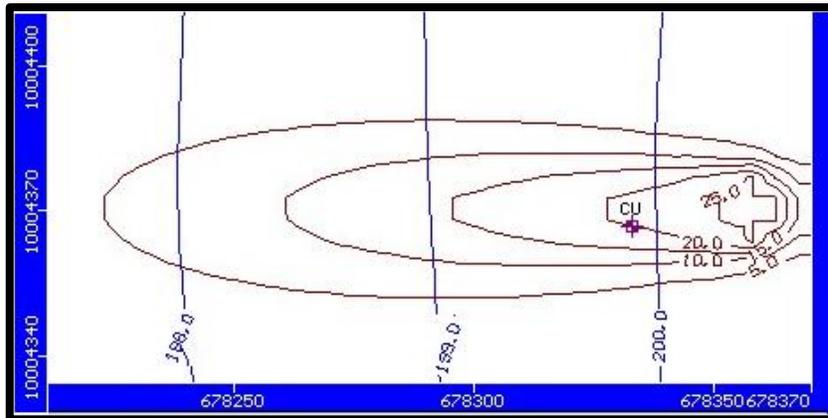
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-21:** Concentración del Cobre vs distancia recorrida a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

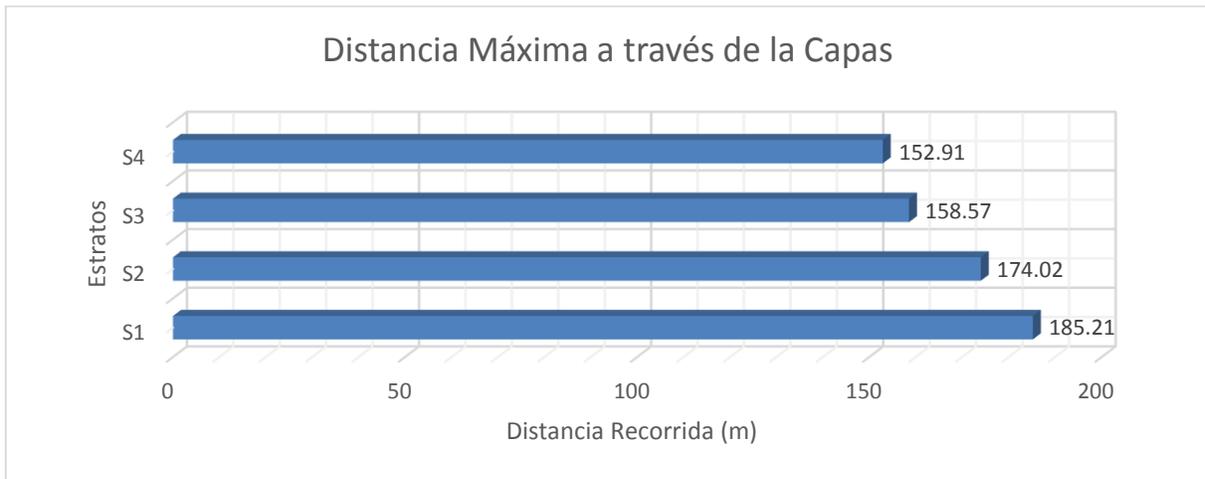
**Figura N° 3-24:** Pluma contaminante del Cobre a los diez años



Fuente: Javier Basantes

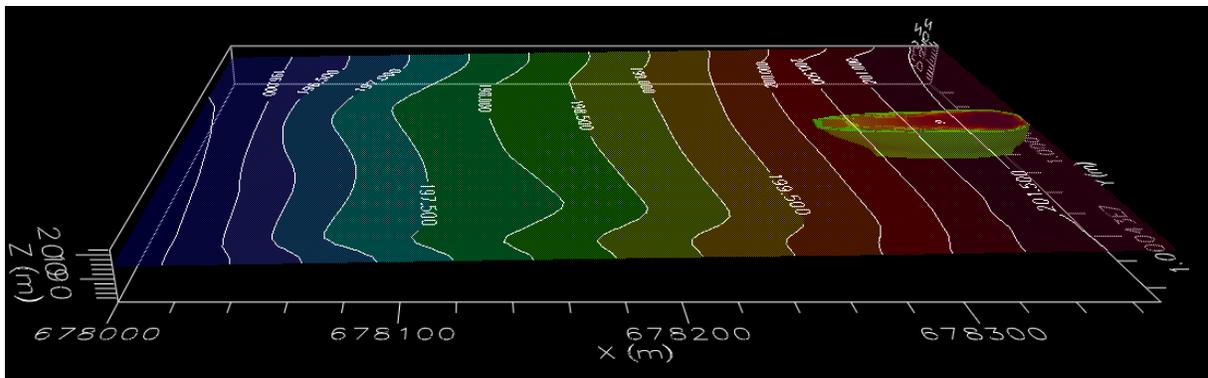
Y la distancia máxima recorrida por el Cobre a través de los estratos durante los diez años es:

**Gráfico N° 3-22:** Distancia máxima del Cobre a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-25:** Esquema tridimensional georreferenciado del transporte del Cobre



Fuente: Javier Basantes

### 3.9.3.5. Transporte del Arsénico (As).

El arsénico al igual que el cromo se encuentra en la naturaleza formando parte del suelo y rocas en combinación con otros elementos como el cobalto y hierro, es un elemento muy tóxico que se usó en el pasado como pesticida no selectivo (Arseniato de plomo y arseniato de calcio) dentro del sector, en plantaciones de tabaco y algodón y luego en los inicios de la producción extractora del Ecuador; el arrastre del arsénico desde los cultivos de palma, su incorporación al suelo y su viaje junto con las precipitaciones hasta las fuentes de agua contaminan acuíferos y las aguas superficiales como los ríos del sector donde deterioran la salud de especies acuáticas aumentando su concentración por la bioacumulación a través de la cadena trófica. El arsénico presente en el suelo del sector es absorbido por las plantaciones de palma y termina siendo descargado en el sistema de depuración de las aguas

residuales, es allí donde se adhiere en las paredes del suelo y se infiltra en la fase porosa junto al agua que debe ser tratada.

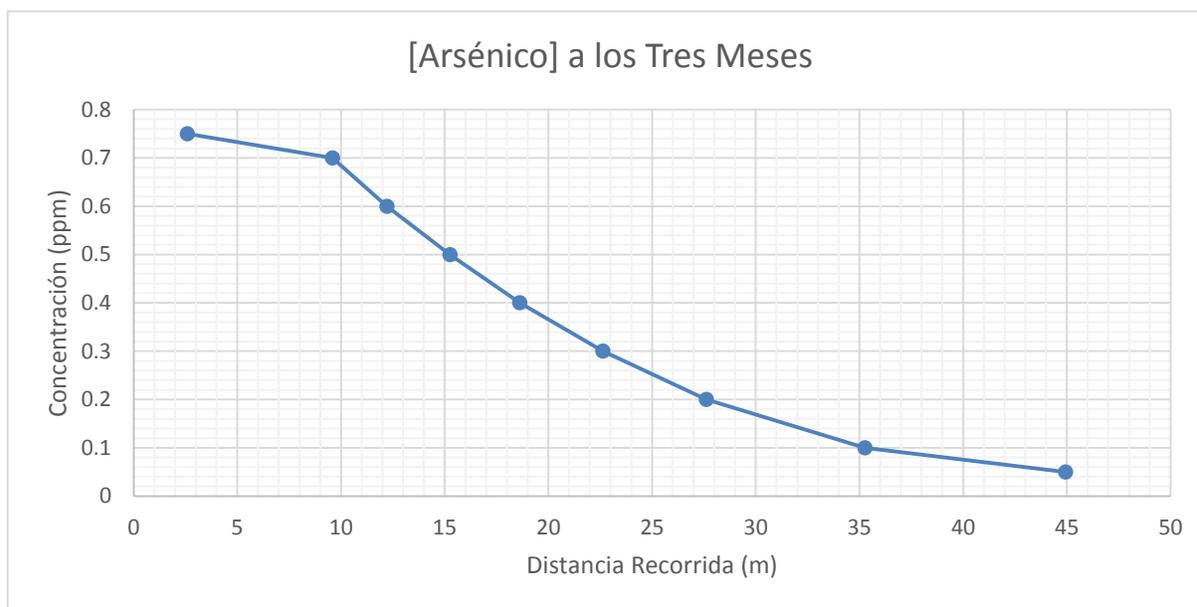
La importancia del diseño de una simulación del transporte del arsénico se debe a que las poblaciones aguas abajo del río Cocola pueden ser expuestas a niveles perjudiciales de arsénico como producto de las operaciones de extracción del aceite de palma y su sistema de tratamiento de aguas y de esta forma se pondría en peligro su salud y bienestar.

**Tabla N° 3-41:** Traslado del Arsénico a los tres meses

[Arsénico] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.75	2.59	2.59
0.7	7.00	9.59
0.6	2.63	12.22
0.5	3.04	15.26
0.4	3.36	18.62
0.3	4.00	22.62
0.2	5.00	27.62
0.1	7.64	35.26
0.05	9.67	44.93

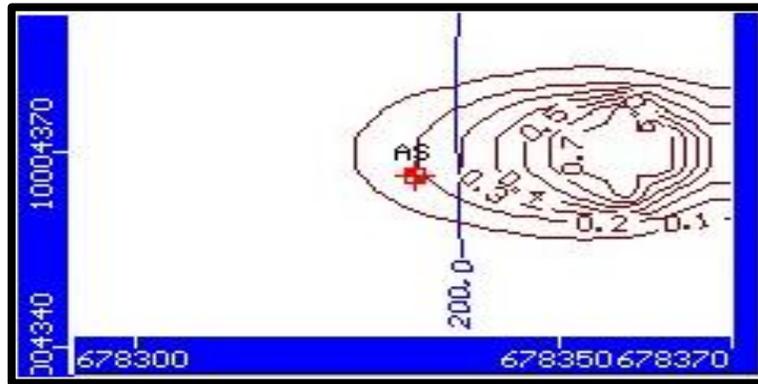
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-23:** Concentración del Arsénico vs distancia recorrida a los 3 meses



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-26:** Pluma contaminante del Arsénico a los tres meses



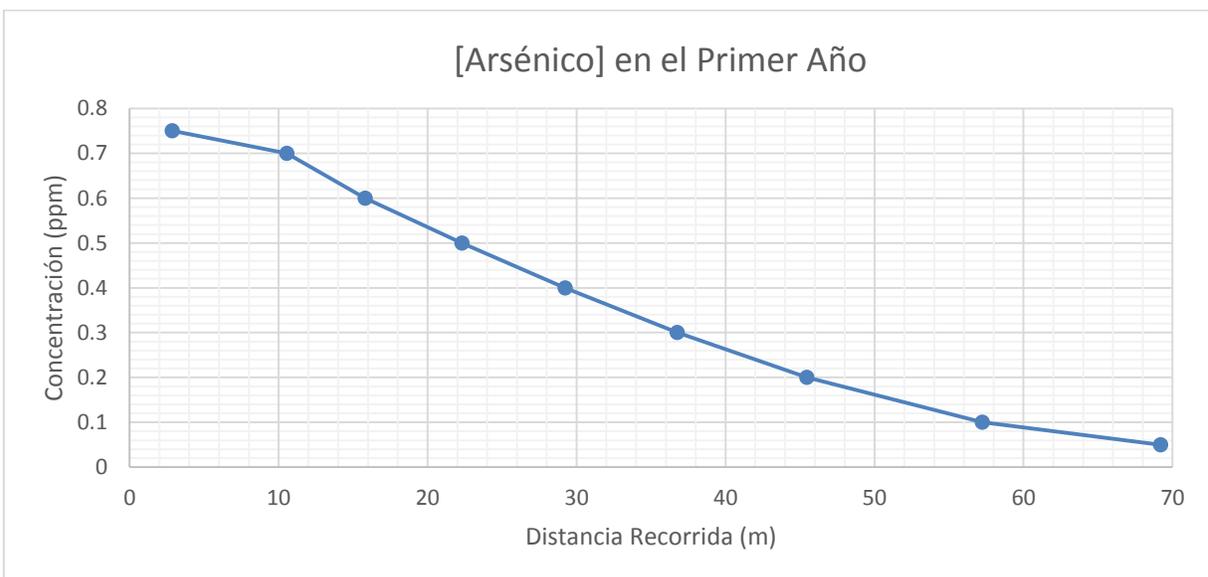
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-42:** Traslado del Arsénico en el primer año

[Arsénico] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.75	2.85	2.85
0.7	7.71	10.56
0.6	5.25	15.81
0.5	6.49	22.30
0.4	6.94	29.24
0.3	7.52	36.76
0.2	8.70	45.46
0.1	11.77	57.23
0.05	11.97	69.2

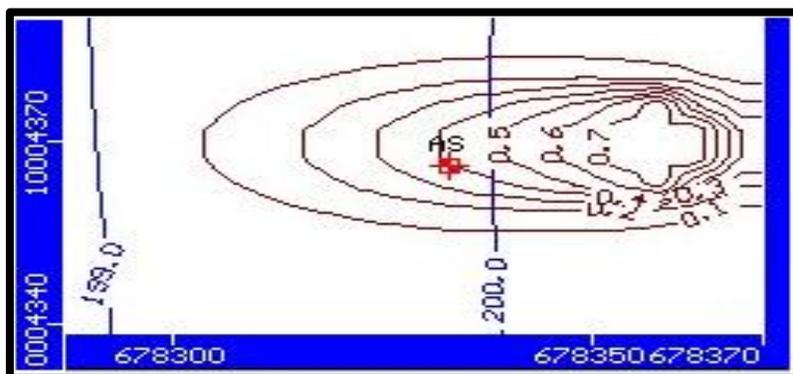
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-24:** Concentración del Arsénico vs distancia recorrida en el primer año



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-27:** Pluma contaminante del Arsénico en el primer año



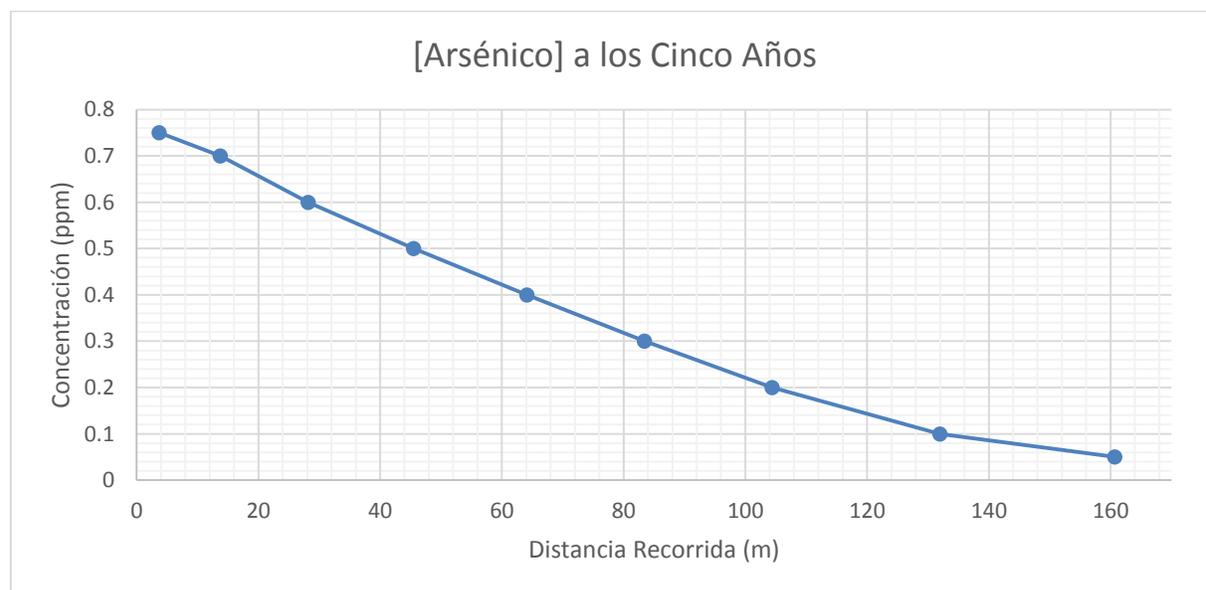
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-43:** Traslado del Arsénico a los 5 años

[Arsénico] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.75	3.71	3.71
0.7	10.04	13.75
0.6	14.44	28.19
0.5	17.31	45.5
0.4	18.62	64.12
0.3	19.29	83.41
0.2	21.00	104.41
0.1	27.57	131.98
0.05	28.73	160.71

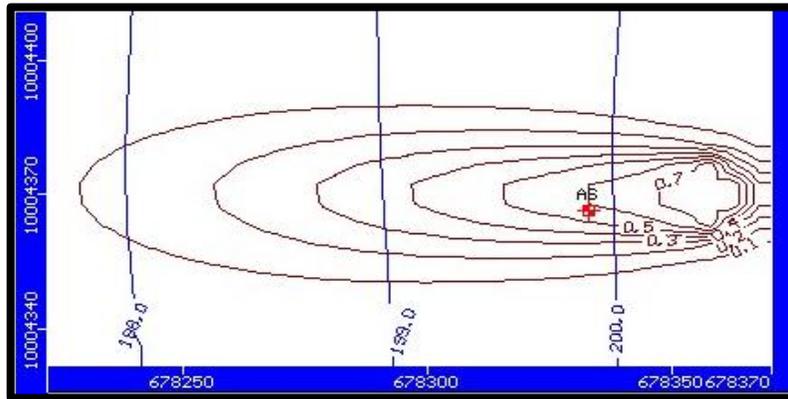
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-25:** Concentración del Arsénico vs distancia recorrida a los 5 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-28:** Pluma contaminante del Arsénico a los cinco años



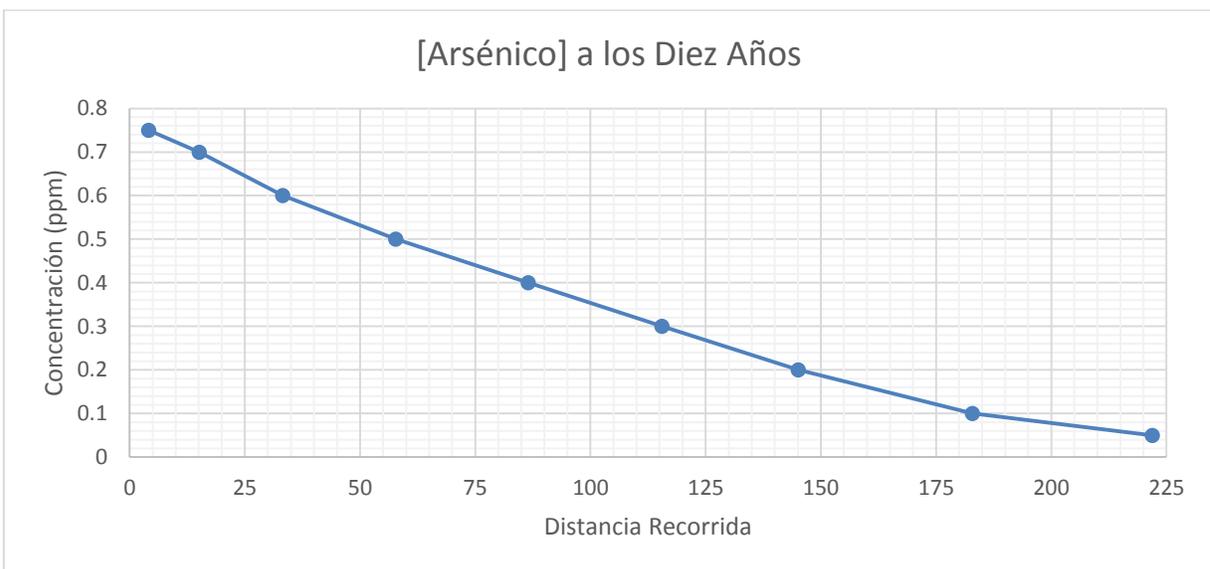
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-44:** Traslado del Arsénico a los 10 años

[Arsénico] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.75	4.09	4.09
0.7	11.05	15.14
0.6	18.05	33.19
0.5	24.58	57.77
0.4	28.70	86.47
0.3	29.03	115.50
0.2	29.57	145.07
0.1	37.84	182.91
0.05	39.02	221.93

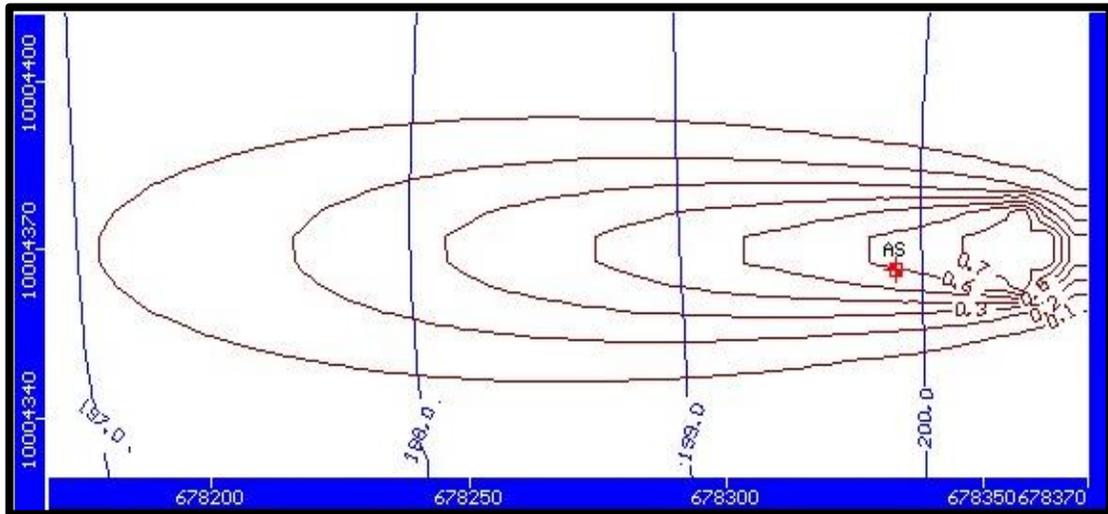
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-26:** Concentración del Arsénico vs distancia recorrida a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

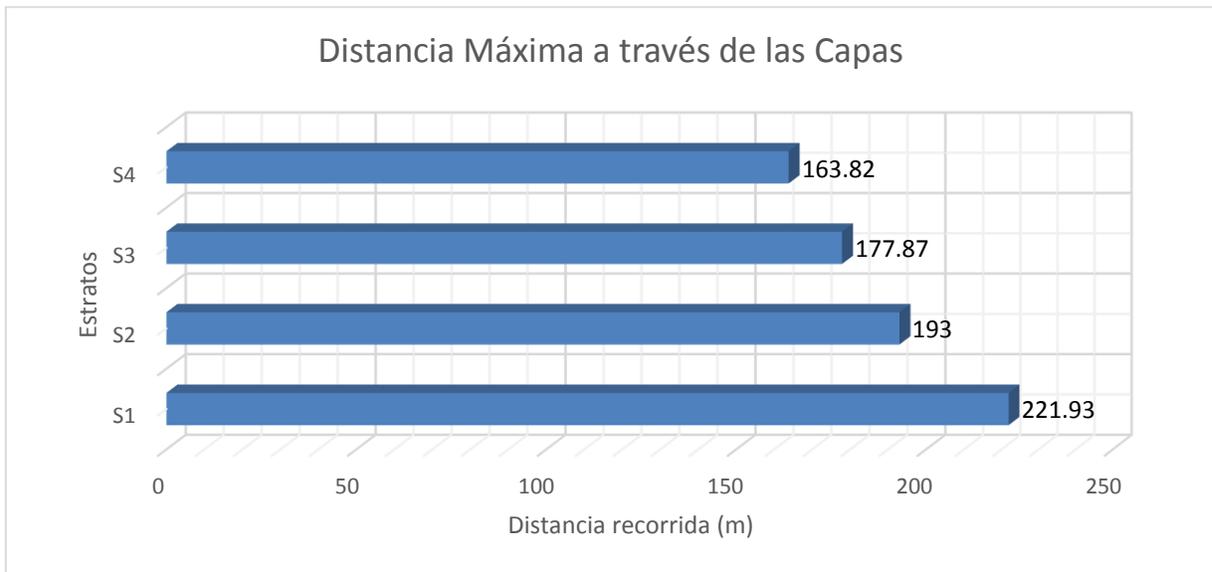
**Figura N° 3-29:** Pluma contaminante del Arsénico a los diez años



Fuente: Javier Basantes

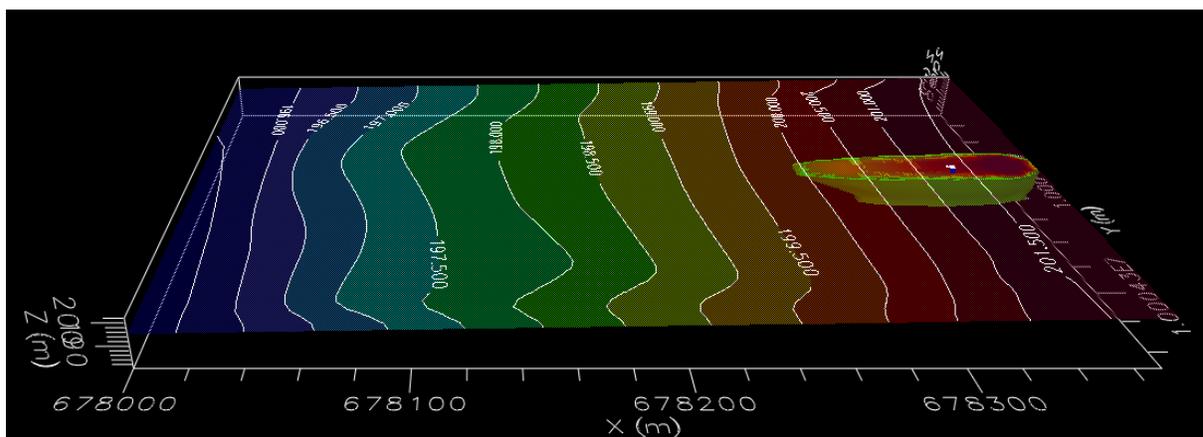
Y la distancia máxima recorrida por el Arsénico a través de los estratos durante los diez años es:

**Gráfico N° 3-27:** Distancia máxima del Arsénico a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-30:** Esquema tridimensional georreferenciado del transporte del Arsénico



Fuente: Javier Basantes

### 3.9.3.6. Compuestos aromáticos (BTX).

La contaminación ocasionada por BTX (Benceno, Tolueno y Xilenos) dentro de la extractora se debe principalmente a dos procesos de la extracción del aceite; la esterilización y la clarificación; ya que cuando el producto termina estos procesos genera desechos, principalmente lodos y aceites de rechazo que a más de tener olores fuertes, arrastran consigo los lubricantes derivados del petróleo proveniente de los procesos, también al requerir todo el proceso de energía que caliente los equipos y vapor de agua se produce bastante quema de combustibles dentro de la extractora liberando estos compuestos hacia la atmósfera y en las descargas líquidas que luego se filtran en el suelo, estos compuestos son poco solubles en agua y se evaporan con facilidad, aun así una fracción se adhiere a los lodos que abandonan el proceso y son descargados a la piscina de oxidación, los sedimentos con BTX se depositan en el fondo y se infiltran, provocando la contaminación del subsuelo debida a la difusión de estos compuestos.

### 3.9.3.7. Transporte del Benceno

**Tabla N° 3-45:** Traslado del Benceno a los 3 meses

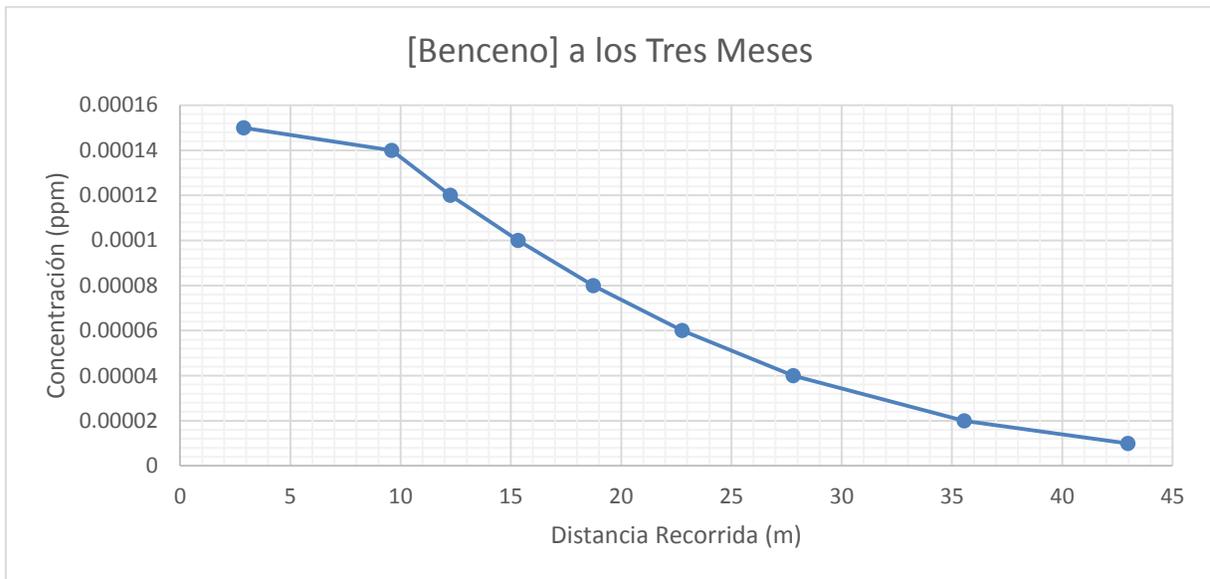
[Benceno] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.00015	2.88	2.88
0.00014	6.72	9.60
0.00012	2.66	12.26
0.00010	3.07	15.33
8E-5	3.41	18.74

**Tabla N° 3-45: Continuación**

6E-5	4.02	22.76
4E-5	5.05	27.81
2E-5	7.75	35.56
1E-5	7.42	42.98

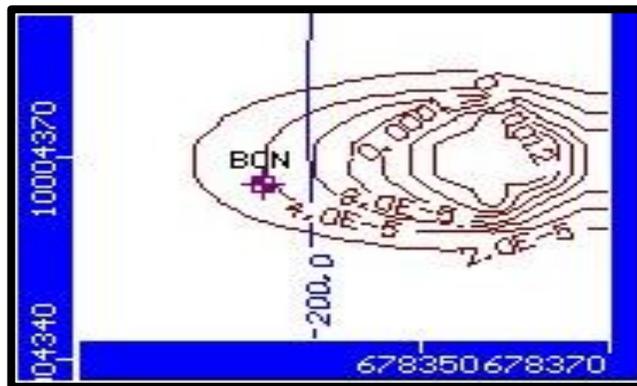
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-28:** Concentración del Benceno vs distancia recorrida a los 3 meses



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3.31:** Pluma contaminante del Benceno a los tres meses



Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-46:** Traslado del Benceno en el primer año

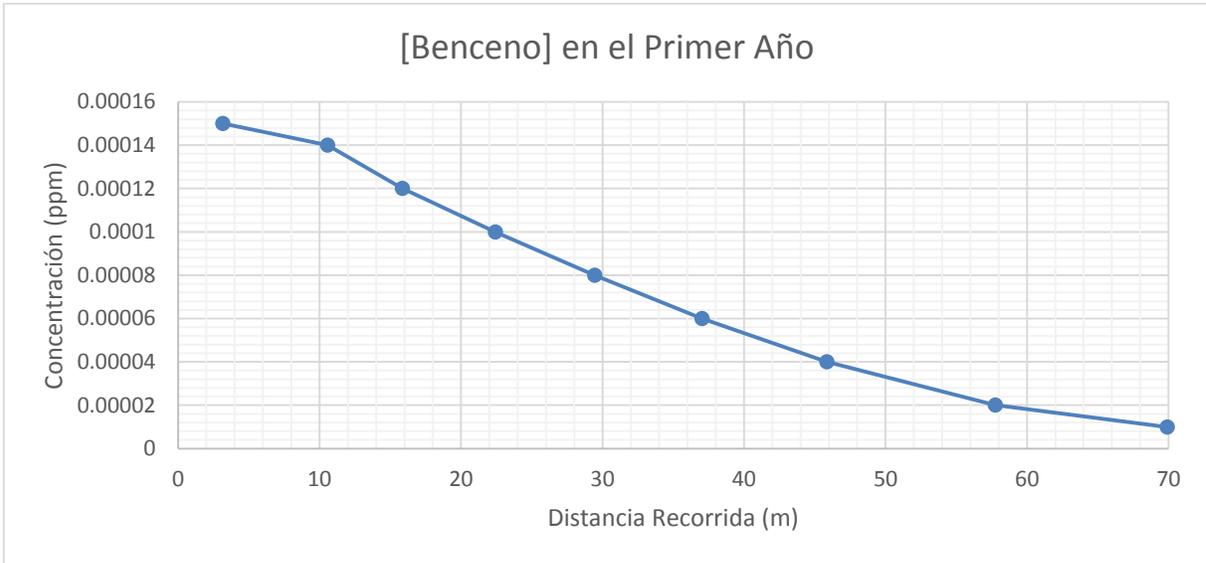
[Benceno] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.00015	3.17	3.17
0.00014	7.40	10.57
0.00012	5.29	15.86

**Tabla N° 3-46: Continuación**

0.00010	6.56	22.42
8E-5	7.02	29.44
6E-5	7.60	37.04
4E-5	8.81	45.85
2E-5	11.91	57.76
1E-5	12.16	69.92

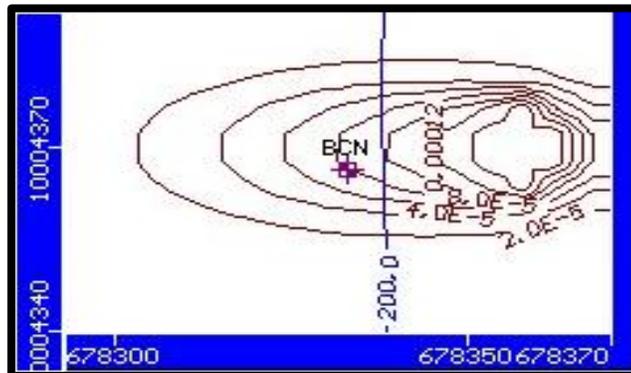
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-29:** Concentración del Benceno vs distancia recorrida en el primer año



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3.32:** Pluma contaminante del Benceno en el primer año



Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-47:** Traslado del Benceno a los 5 años

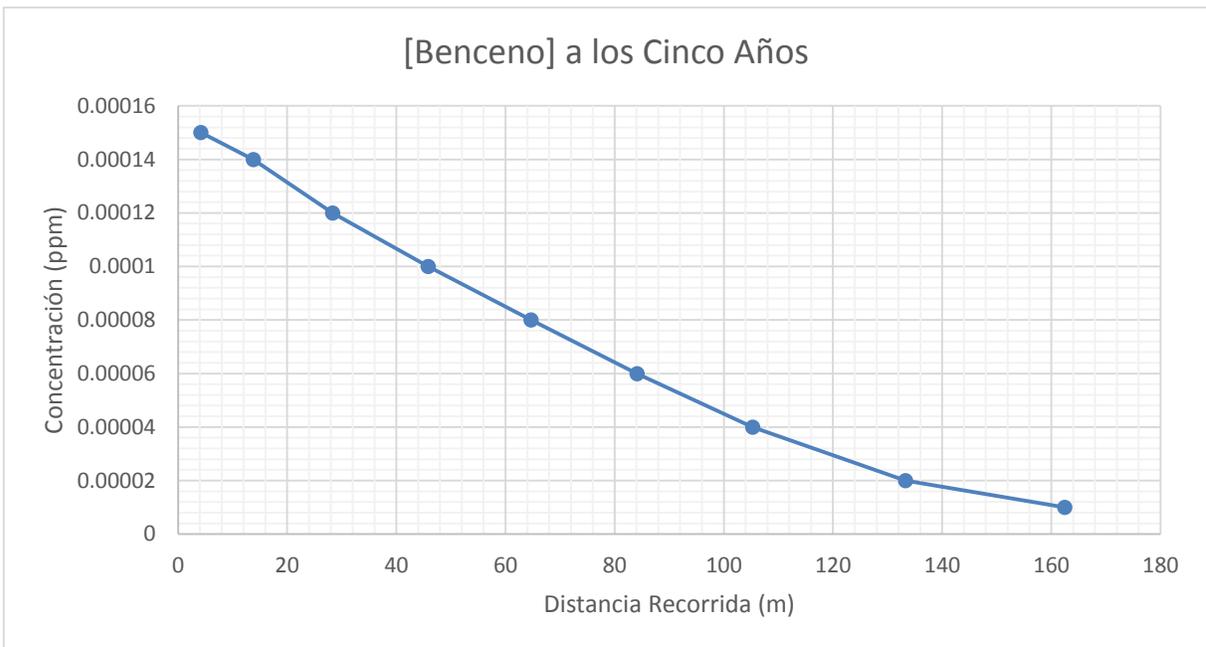
[Benceno] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.00015	4.14	4.14
0.00014	9.65	13.79

**Tabla N° 3-47: Continuación**

0.00012	14.54	28.33
0.00010	17.51	45.84
8E-5	18.82	64.66
6E-5	19.44	84.10
4E-5	21.19	105.29
2E-5	28.01	133.3
1E-5	29.13	162.43

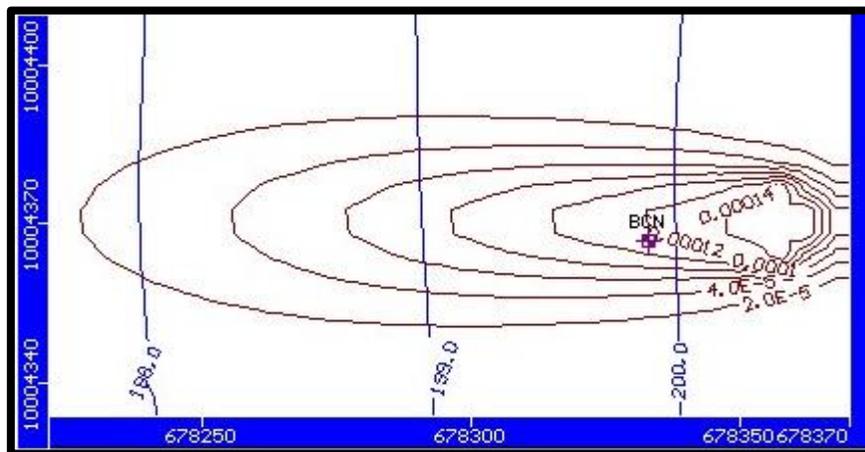
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-30: Concentración del Benceno vs distancia recorrida a los 5 años**



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-33: Pluma contaminante del Benceno a los cinco años**



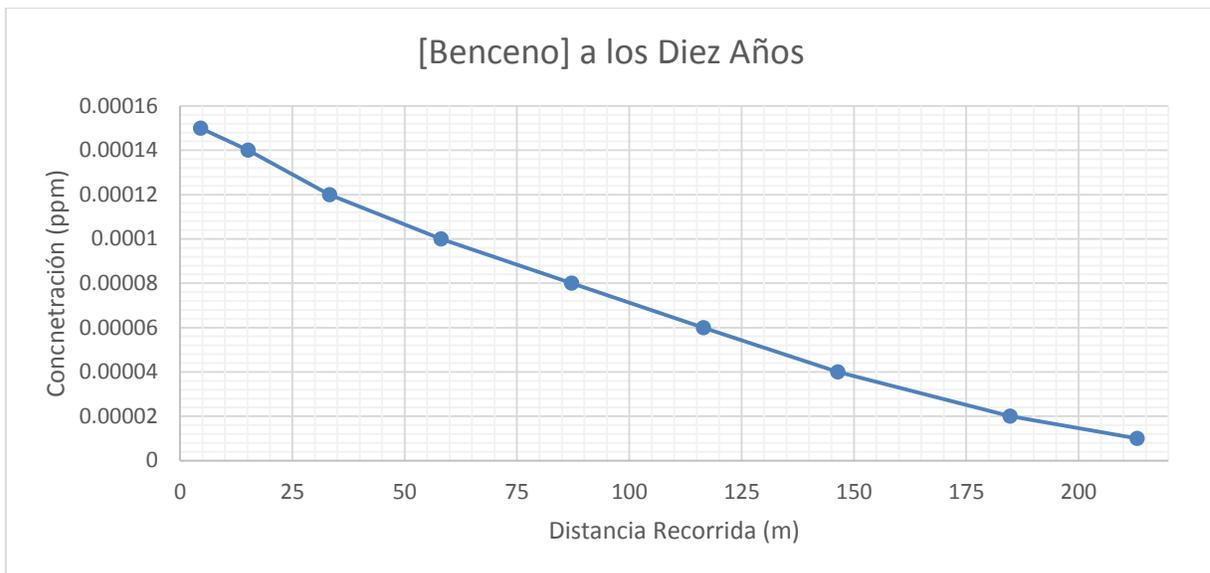
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-48:** Traslado del Benceno a los 10 años

[Benceno] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.00015	4.55	4.55
0.00014	10.61	15.16
0.00012	18.14	33.3
0.00010	24.81	58.11
8E-5	29.05	87.16
6E-5	29.37	116.53
4E-5	29.86	146.39
2E-5	38.39	184.78
1E-5	28.28	213.06

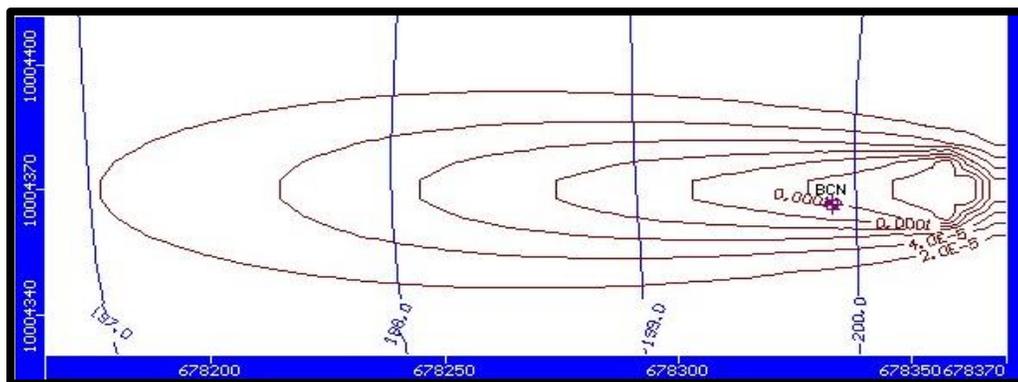
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-31:** Concentración del Benceno vs distancia recorrida a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-34:** Pluma contaminante del Benceno a los diez años



Fuente: Javier Basantes

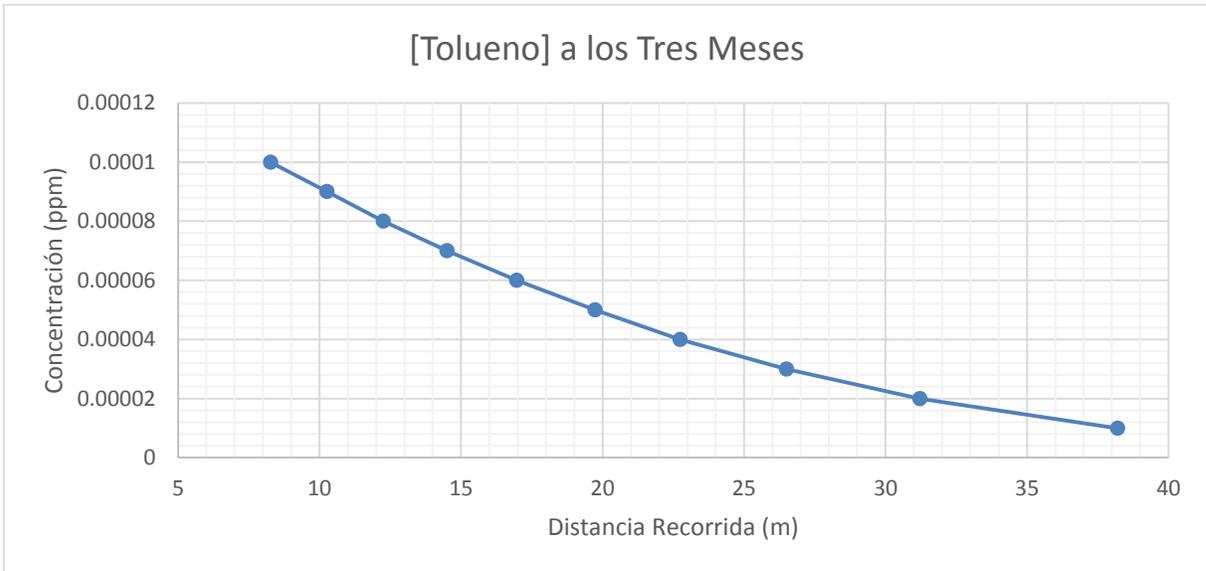


**Tabla N° 3-49:** Continuación

4E-5	3.01	22.74
3E-5	3.76	26.5
2E-5	4.71	31.21
1E-5	6.99	38.20

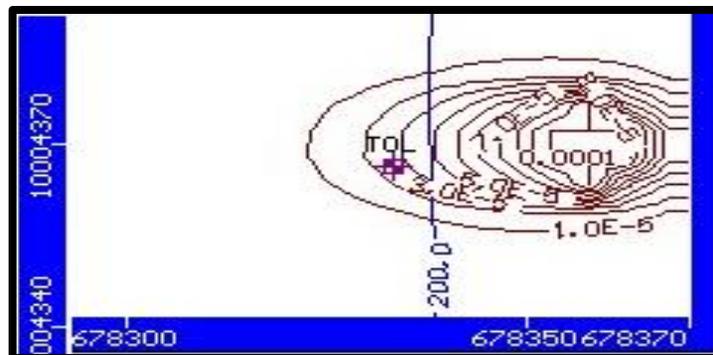
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-33:** Concentración del Tolueno vs distancia recorrida a los 3 meses



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-36:** Pluma contaminante del Tolueno a los tres meses



Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-50:** Traslado del Tolueno en el primer año

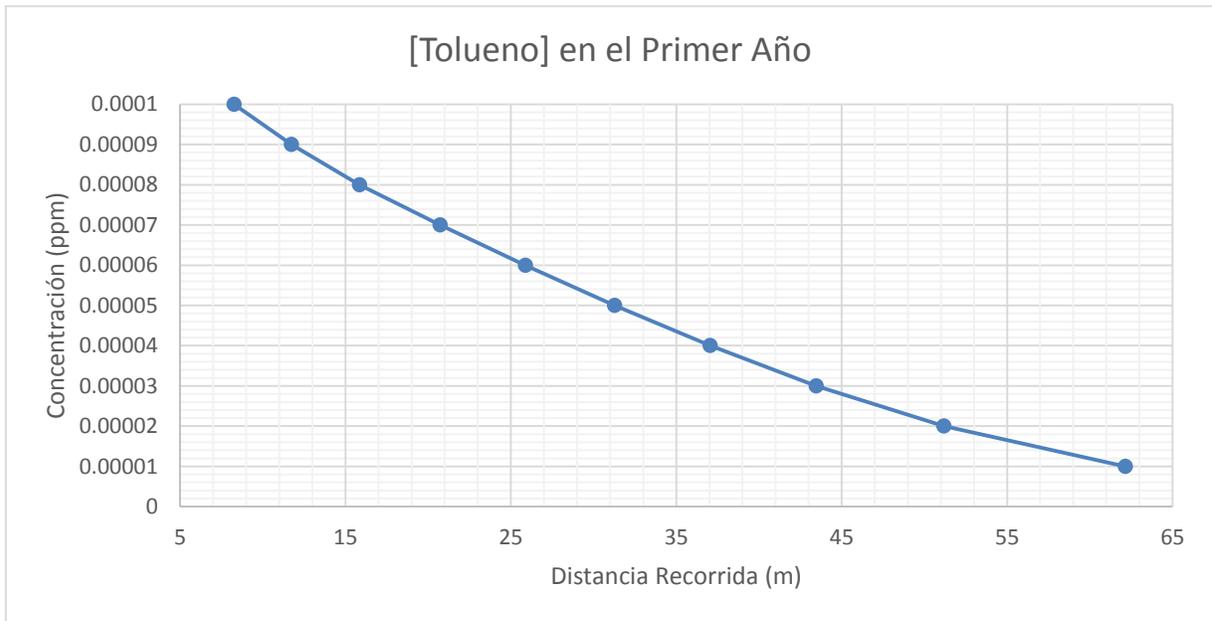
[Tolueno] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.0001	8.27	8.27
9E-5	3.46	11.73

**Tabla N° 3-50: Continuación**

8E-5	4.13	15.86
7E-5	4.87	20.73
6E-5	5.16	25.89
5E-5	5.39	31.28
4E-5	5.77	37.05
3E-5	6.40	43.45
2E-5	7.72	51.17
1E-5	10.98	62.15

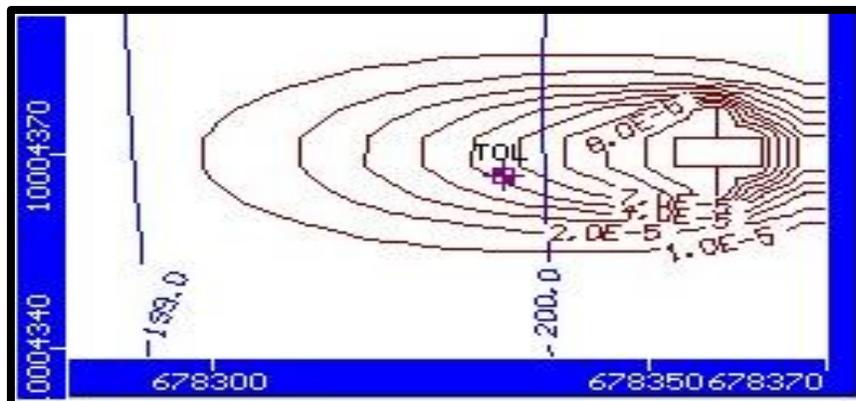
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-34: Concentración del Tolueno vs distancia recorrida en el primer año**



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-37: Pluma contaminante del Tolueno en el primer año**



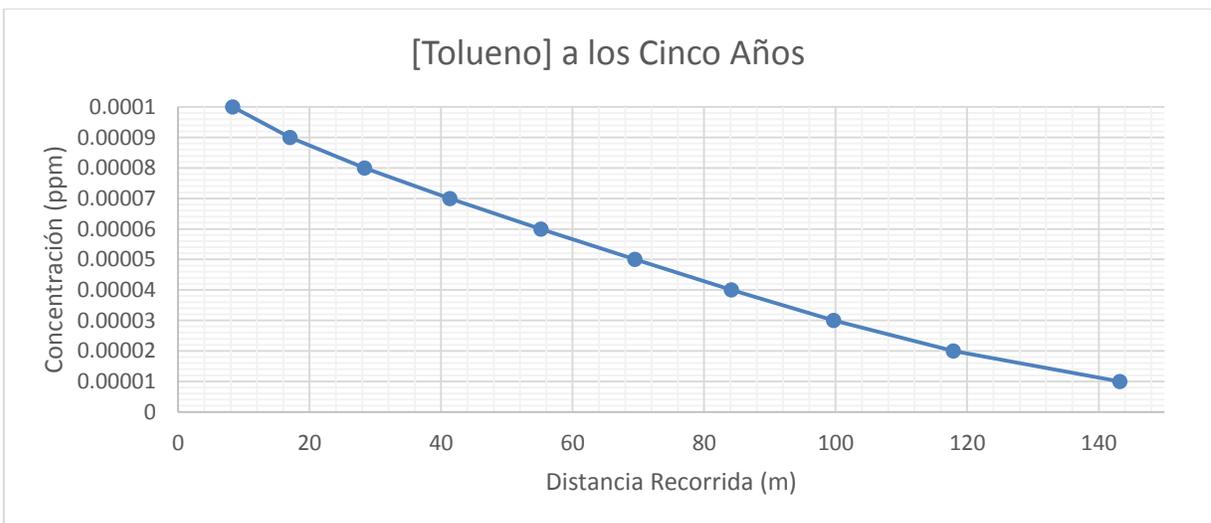
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-51:** Traslado del Tolueno a los 5 años

[Tolueno] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.0001	8.29	8.29
9E-5	8.72	17.01
8E-5	11.34	28.35
7E-5	12.98	41.33
6E-5	13.85	55.18
5E-5	14.27	69.45
4E-5	14.67	84.12
3E-5	15.57	99.69
2E-5	18.19	117.88
1E-5	25.33	143.21

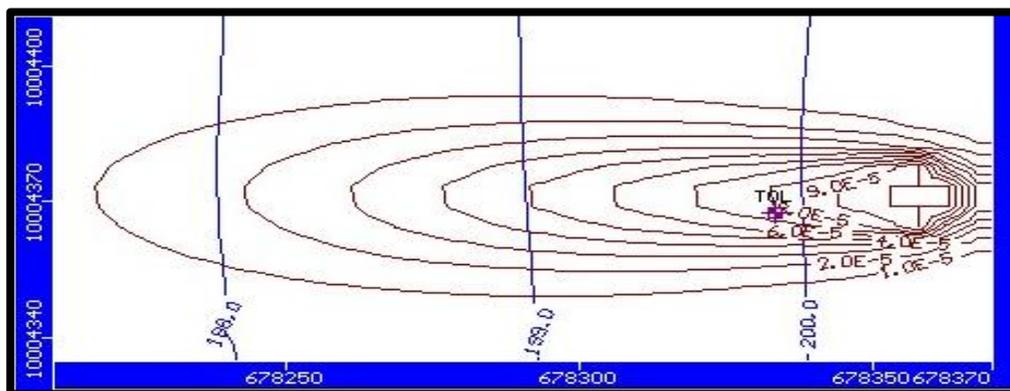
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-35:** Concentración del Tolueno vs distancia recorrida a los 5 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-38:** Pluma contaminante del Tolueno a los cinco años



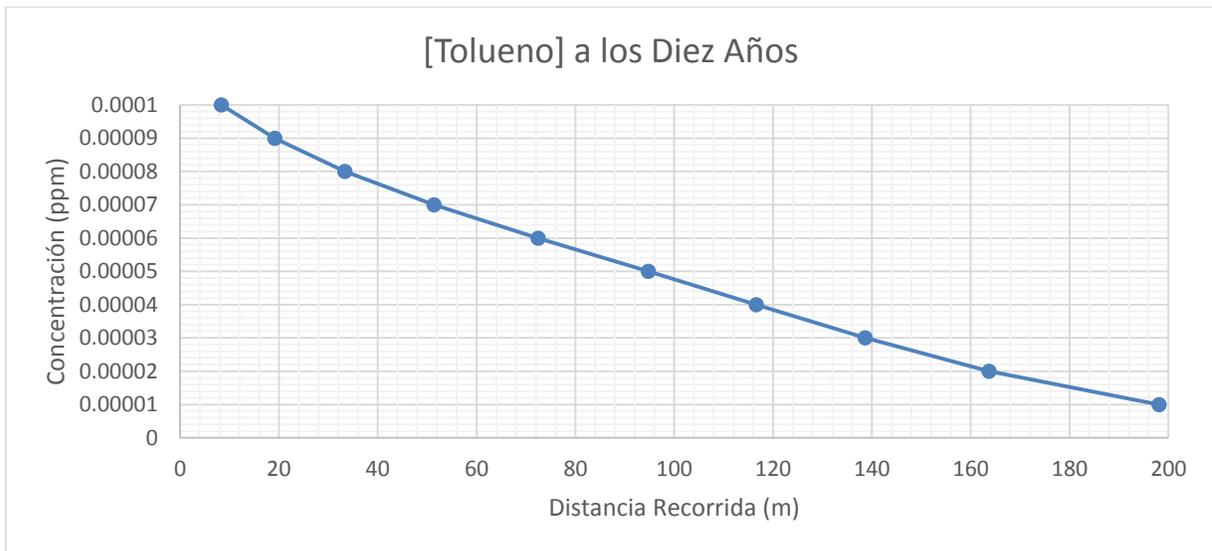
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-52:** Traslado del Tolueno a los 10 años

[Tolueno] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.0001	8.33	8.33
9E-5	10.82	19.15
8E-5	14.21	33.36
7E-5	18.01	51.37
6E-5	21.09	72.46
5E-5	22.30	94.76
4E-5	21.83	116.59
3E-5	22.02	138.61
2E-5	25.11	163.72
1E-5	34.42	198.14

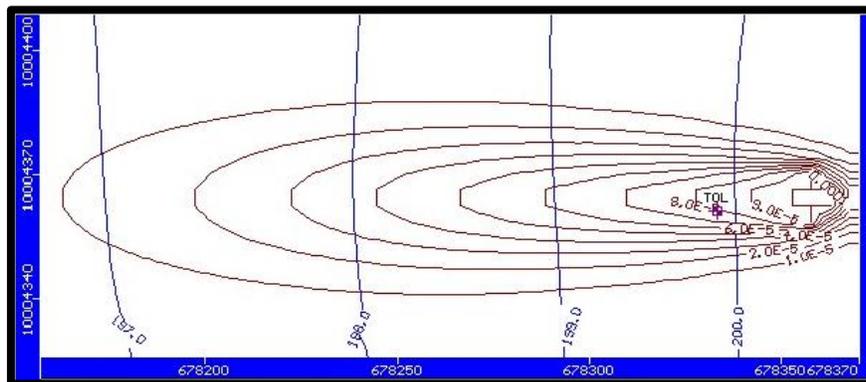
Elaborado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-36:** Concentración del Tolueno vs distancia recorrida a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-39:** Pluma contaminante del Tolueno a los diez años



Fuente: Javier Basantes

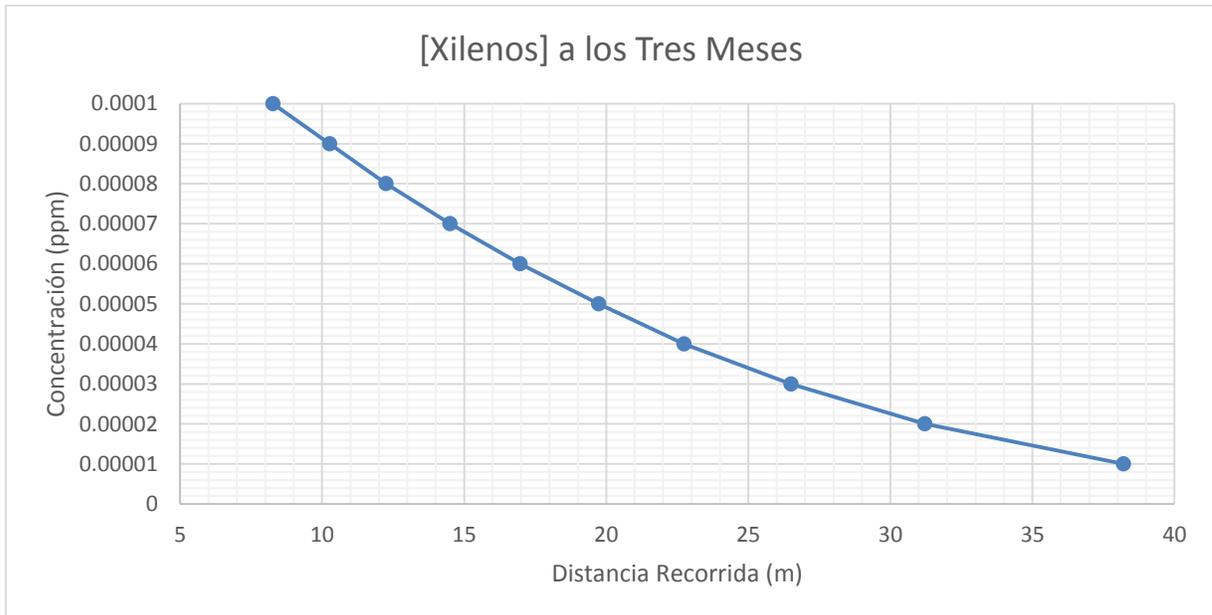


**Tabla N° 3-53: Continuación**

6E-5	2.47	16.97
5E-5	2.76	19.73
4E-5	3.01	22.74
3E-5	3.76	26.50
2E-5	4.71	31.21
1E-5	6.99	38.20

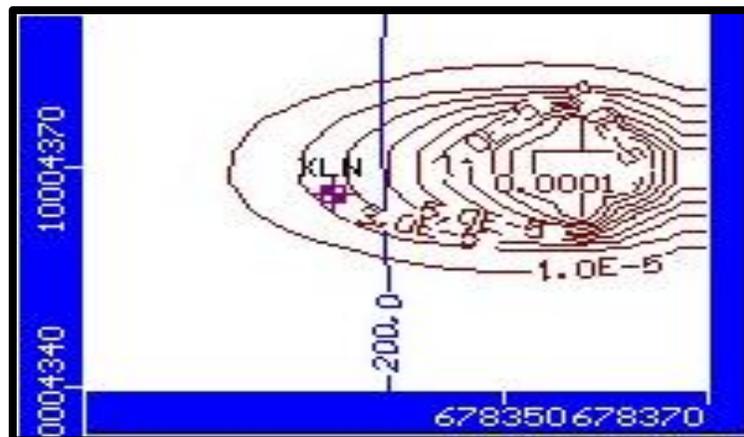
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-38: Concentración de Xilenos vs distancia recorrida a los 3 meses**



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-41: Pluma contaminante de Xilenos a los tres meses**



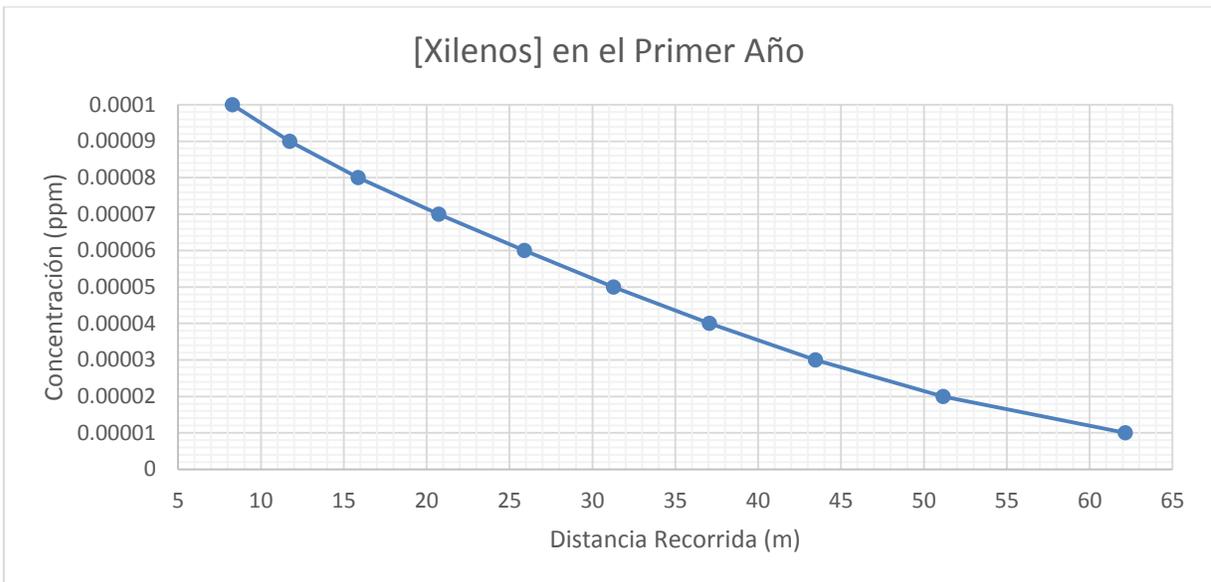
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-54:** Traslado de Xilenos al primer año

[Xilenos] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.0001	8.27	8.27
9E-5	3.46	11.73
8E-5	4.13	15.86
7E-5	4.87	20.73
6E-5	5.16	25.89
5E-5	5.39	31.28
4E-5	5.77	37.05
3E-5	6.40	43.45
2E-5	7.72	51.17
1E-5	10.98	62.15

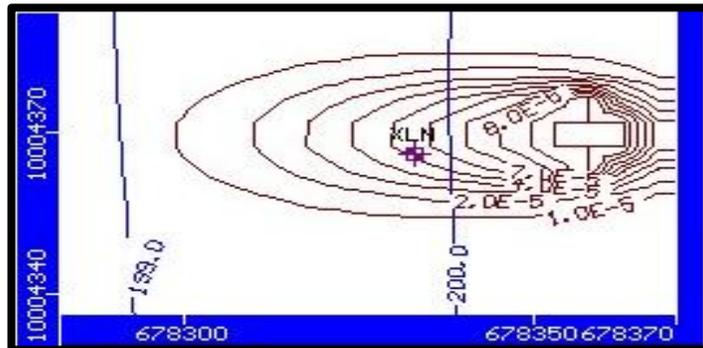
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-39:** Concentración de Xilenos vs distancia recorrida en el primer año



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-42:** Pluma contaminante de Xilenos en el primer año



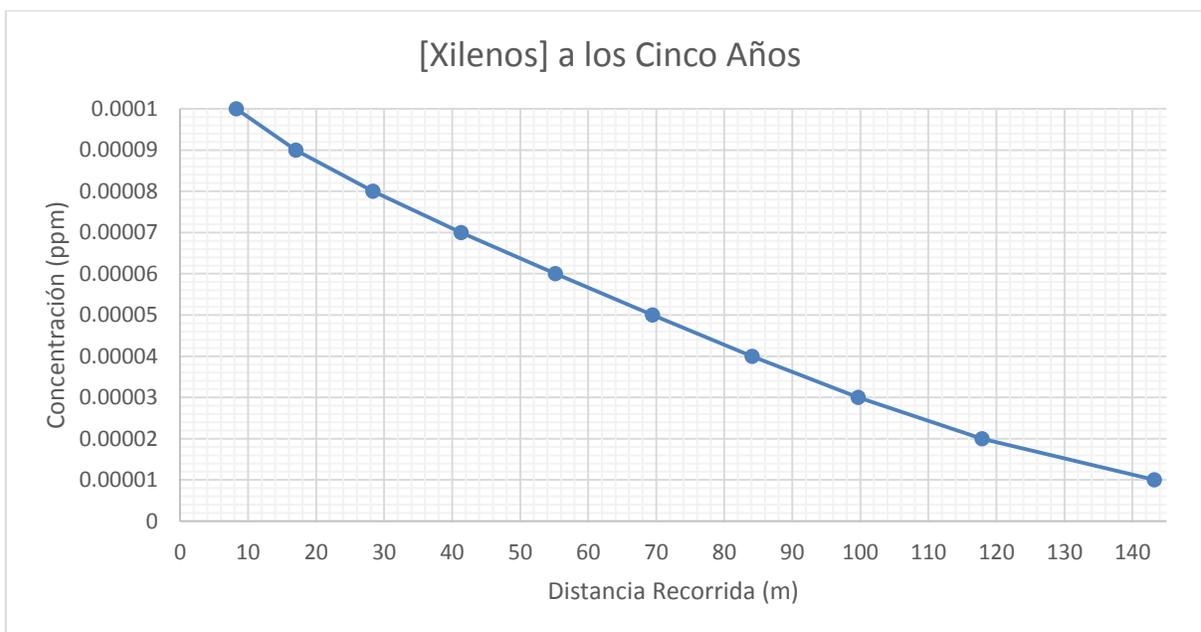
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-55:** Traslado de Xilenos a los 5 años

[Xilenos] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.0001	8.29	8.29
9E-5	8.72	17.01
8E-5	11.34	28.35
7E-5	12.98	41.33
6E-5	13.85	55.18
5E-5	14.27	69.45
4E-5	14.67	84.12
3E-5	15.57	99.69
2E-5	18.19	117.88
1E-5	25.33	143.21

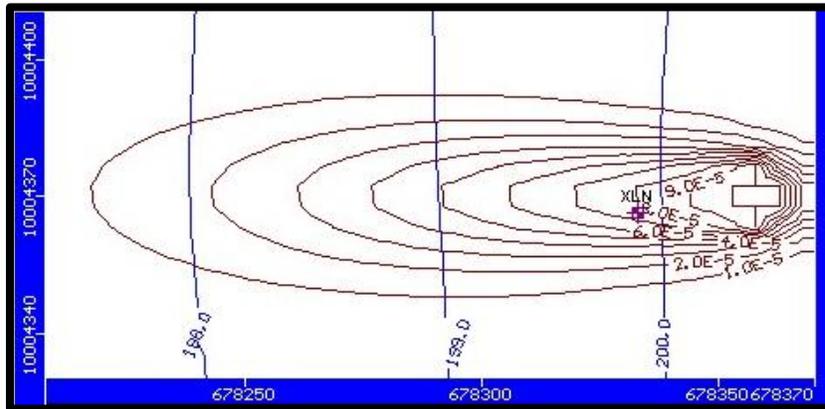
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-40:** Concentración del Xilenos vs distancia recorrida a los 5 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-43:** Pluma contaminante de Xilenos a los cinco años



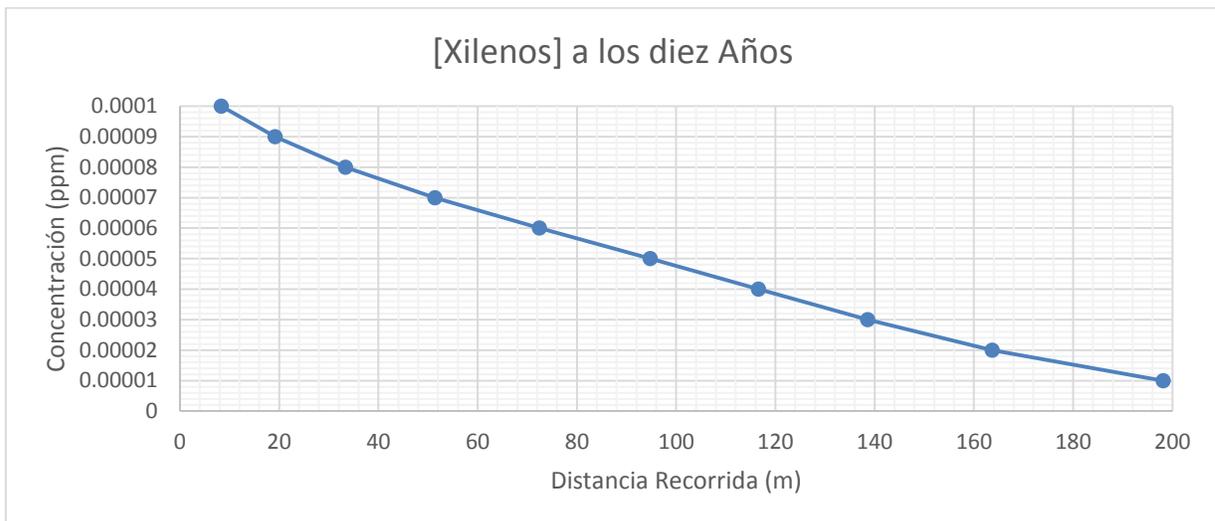
Fuente: Javier Basantes

**Tabla N° 3-56:** Traslado de Xilenos a los 10 años

[Xilenos] (ppm)	Distancia Recorrida (m)	Distancia Recorrida Acumulada (m)
0.0001	8.33	8.33
9E-5	10.82	19.15
8E-5	14.21	33.36
7E-5	18.01	51.37
6E-5	21.09	72.46
5E-5	22.30	94.76
4E-5	21.83	116.59
3E-5	22.02	138.61
2E-5	25.11	163.72
1E-5	34.42	198.14

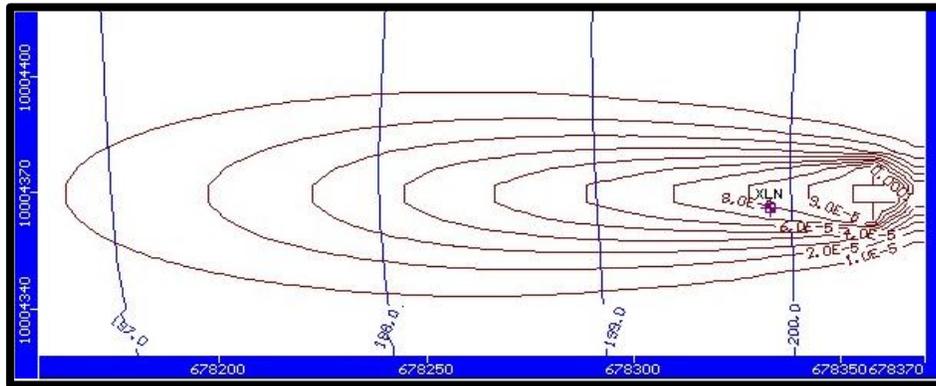
Realizado por: Javier Basantes

**Gráfico N° 3-41:** Concentración de Xilenos vs distancia recorrida a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

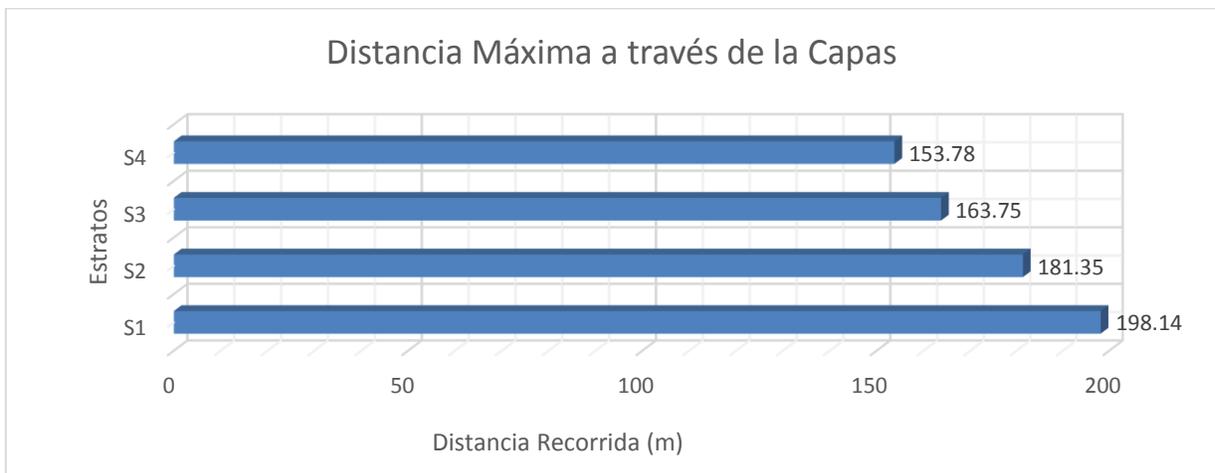
**Figura N° 3-44:** Pluma contaminante de Xilenos a los diez años



Fuente: Javier Basantes

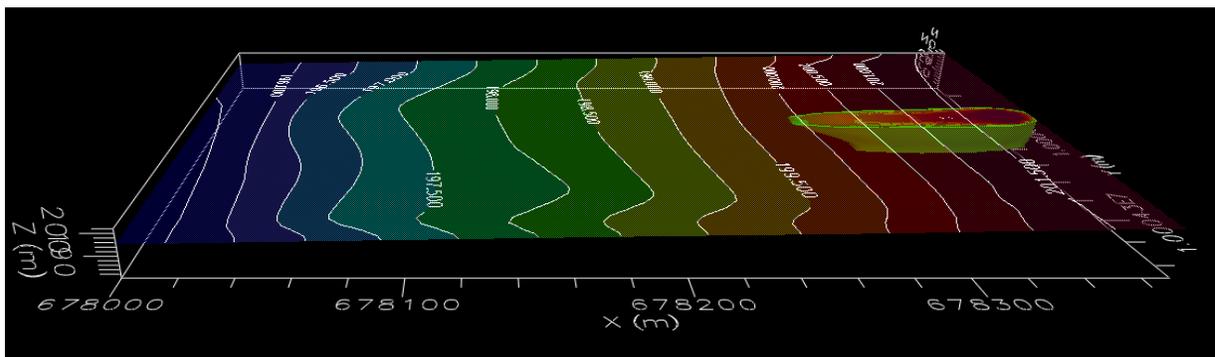
Y la distancia máxima recorrida por los Xilenos a través de los estratos durante los diez años es:

**Gráfico N° 3-42:** Distancia máxima de los Xilenos a los 10 años



Realizado por: Javier Basantes

**Figura N° 3-45:** Esquema tridimensional georreferenciado del transporte de Xilenos



Fuente: Javier Basantes

### **3.9.4. Parámetros de Contaminación en la Extractora de Aceite de Palma PEXA S.A.**

Del levantamiento de la línea base para la Extractora PEXA S.A. se ha recabado información sobre el régimen de producción el cual es alrededor de 12000 ton/año de aceite de palma y 6600ton/año de nuez o palmiste con un itinerario de trabajo de 12 horas al día, 5 días a la semana y 52 semanas al año siempre que las condiciones climáticas lo favorezcan. Dentro de la Extractora de aceite de palma PEXA S.A. son emitidos contaminantes cuya presencia se justifica como consecuencia del proceso productivo de la obtención de aceite, estos contaminantes terminan en el agua, suelo, aire flora y fauna del AI de la Extractora.

El estudio de la contaminación causada por las piscinas de oxidación parte de los resultados de los análisis realizados y de las muestras colectadas dentro del sistema de tratamiento de las aguas residuales. Con esos datos se diseñó un modelo predictivo de aguas subterráneas (Modflow) ajustando los parámetros de la matriz del suelo existentes y ejecutándolo junto con el módulo de transporte de contaminantes (MT3DMS) dentro de las coordenadas específicas del funcionamiento de la Extractora.

#### **3.9.4.1. El Tratamiento de las aguas residuales**

Las aguas contaminadas que terminan en las piscinas de oxidación son utilizadas principalmente en los esterilizadores, donde los racimos de fruta fresca se someten al vapor de alta presión y en la etapa de clarificación del aceite, donde se lo separa de los Iodos que provienen del digestor.

La Extractora PEXA S.A. cuenta con cuatro piscinas oxidativas y trampas de grasa diseñadas previas a las descargas, y alejadas de los procesos propios de la extracción del aceite. Actualmente se hallan en funcionamiento dos de las cuatro piscinas, la profundidad de la piscina muestreada y la gran carga orgánica de las aguas descargadas determinan que se trata de una laguna de oxidación anaeróbica. En la visita de campo y el muestreo de sus sedimentos se percibió la emisión de olores fétidos, además los resultados del análisis demuestran la descomposición anaerobia y la liberación de dióxido de carbono y metano principalmente.

El muestreo al interior de la piscina permitió observar el desarrollo de algas tanto en las paredes como en el fondo, estas mantienen relaciones simbióticas al consumir CO<sub>2</sub> y producir oxígeno que es usado por las bacterias para degradar la materia orgánica. El pH de las aguas muestreadas comprueban su estado de acidez al término de los procesos de extracción del aceite debido a la acidez inicial de los

desechos. En una buena proporción de casos, a todo esto se podrían sumar los residuos de plaguicidas y fertilizantes que suelen ser utilizados intensivamente en las plantaciones. Estos inhiben el desarrollo de bacterias que contribuyen a la depuración de las descargas de agua creándose condiciones anaerobias. Aunque se cuenta con trampas de grasa cierta cantidad de aceites y otros materiales descargados a la piscina flotan en la superficie impidiendo el paso de la luz a través del agua retardando los procesos depuradores y acentuando aún más las condiciones anaerobias de la piscina, estos aceites abandonarán el proceso de tratamiento sin ser degradados y terminarán depositados en el cauce del río alterando la vida acuática y la vegetación de las orillas.

Los cambios bruscos de temperatura que sufre el agua, en el momento que es descargada hacia la piscina inhiben el metabolismo de algunos microorganismos mesófilos de la superficie y su desarrollo, lo que retarda también la degradación de la carga orgánica, estas variaciones se estabilizan rápidamente, pero también se ve alterada la densidad del agua y esto influye en los procesos de infiltración en el subsuelo sobretodo en la superficie, ya que los cambios son mínimos en el fondo de la piscina.

Hay que tener en cuenta que los sedimentos depositados en el fondo de la piscina de oxidación ocupan un volumen considerable, generalmente la remoción de estos sedimentos se logra al vaciar la piscina y dejar que estos solidifiquen y así sacarlos. La cantidad de lodos en el fondo limita la capacidad depuradora del tratamiento haciéndolo deficiente y por consecuencia la carga orgánica aun no será apta para abandonar el tratamiento. Mediante las mediciones de profundidad dentro de la piscina, el diseño del modelo en 3D en AutoCAD y el cálculo de volúmenes para cuerpos irregulares se pudo reportar un valor aproximado de sedimentos en la piscina de 1204.6071m<sup>3</sup>.

#### **3.9.4.2. La Contaminación del suelo**

El alto contenido de sólidos totales (lodos), que son descargados junto con las aguas residuales y la sedimentación de los mismos alteran la granulometría del suelo en el AID.

Del levantamiento y descripción de la línea base para la Extractora PEXA S.A. se ha identificado cierto nivel de modificación del uso del suelo debido a la ubicación de la planta industrial y la presencia de las piscinas de oxidación que desprenden malos olores, y pese a que se ha tratado de alejarlas de la comunidad, su cercanía tiende a generar malestar en los pobladores, aunque al mismo tiempo la generación de fuentes de empleo y comercio benefician a los moradores del sector.

Del diseño y simulación de las plumas contaminantes a través de las capas del suelo para los diferentes contaminantes estudiados se pueden apreciar plumas que avanzan menor distancia a medida que se aleja de la superficie debido a los procesos de Sorción y retardo que experimentan en la matriz del suelo hasta llegar al nivel freático; por la saturación del terreno que ocupa los espacios porosos retardando su movilidad y debido también a la sedimentación de los lodos que forman una película poco permeable con una gran cantidad de carga orgánica cuando se adhieren a las paredes de la piscina de oxidación, en realidad los contaminantes analizados llegan a alcanzar el nivel freático entrando en contacto con las aguas subterráneas que aportan caudal al río sin embargo ninguna de las plumas diseñadas entran en contacto con el río situado en sus coordenadas georreferenciadas y todos estos parámetros estudiados llegan al nivel freático en concentraciones muy por debajo de los límites máximos permitidos por la legislación ambiental vigente (TULAS).

La reducida movilidad que experimentan los contaminantes es acentuada también por el gradiente de inclinación natural del terreno el cual varía alrededor de 5 metros desde la descarga en las lagunas ubicadas 202msnm hasta los 197msnm en su punto más bajo a 370metros del punto de descarga en el tratamiento de las lagunas, el grado de inclinación entre estas dos distancias es de  $0.77^\circ$  con respecto a la horizontal.

El análisis georreferenciado de cada pluma contaminante permite además referenciar dentro del AI el alcance máximo de cada sustancia estudiada, establecer pautas evaluativas para estudios posteriores y servir como referencia para proyectos de Prevención, Reducción y mitigación de la contaminación dentro de la Extractora. (Ver Anexo C).

#### **3.9.4.3. Efectos en la flora y fauna**

La línea base elaborada permite establecer las condiciones del componente biótico. Existen alteraciones en la flora y la fauna, debido a que se destinan enormes extensiones de suelo al monocultivo de la palma Africana y a la instalación de plantas industriales extractoras.

La biodiversidad de especies presente y ecosistemas, es alterada cuando se distorsionan las condiciones ambientales, como la tala de los bosques, y la sustitución de estos por cultivos agroindustriales, en el caso de la palma africana.

El empobrecimiento del suelo cuyos nutrientes son absorbidos por las plantaciones para desarrollarse, y el consecuente suministro por parte de los palmicultores de grandes cantidades de fertilizantes al suelo que luego son asimilados por las plantas y descargados en el sistema de tratamientos, y que junto con las precipitaciones, el arrastre y los procesos de transporte al interior del suelo se desplazan a otros lugares, convirtiéndose, en la causa de contaminación del agua, del suelo, de los animales y del hombre.

### 3.9.5. Prueba Estadística para la hipótesis planteada

Finalmente se evaluó las distancias alcanzadas por cada parámetro estudiado mediante la aplicación de una prueba estadística t-student para comparar la media experimental de las muestras con un límite teórico propuesto y a un nivel de significancia de 0.05

**Tabla N° 3-57:** Distancia recorrida por cada contaminante en 10 años

Contaminantes Estudiados	Distancia Máxima Recorrida en 10 Años (m)
<b>Cadmio (Cd)</b>	242.35
<b>Plomo (Pb)</b>	189.07
<b>Cromo (Cr)</b>	138.97
<b>Cobre (Cu)</b>	185.21
<b>Arsénico (As)</b>	221.93
<b>Benceno</b>	213.06
<b>Tolueno</b>	198.14
<b>Xilenos</b>	198.14
<b>Sumatoria Total</b>	1586.87
<b>Promedio de las distancias máximas recorridas</b>	198.36

Realizado por: Javier Basantes

**Hipótesis Nula (H0):** El promedio de distancias recorridas por los contaminantes no difiere significativamente del límite teórico.

**Hipótesis Alternativa (H1):** El promedio de distancias recorridas por los contaminantes difiere significativamente del límite teórico.

Límite teórico ( $\mu$ ): Es la distancia georreferenciada desde el punto de descarga de las aguas residuales hasta el Río Colola.

$$\mu = 520.7m$$

Media experimental ( $\bar{x}$ ): Es el promedio de las distancias máximas recorridas por cada uno de los ocho contaminantes estudiados.

$$\bar{x} = 198.36 \text{ m}$$

Numero de determinaciones ( $n$ ): La cantidad de contaminantes estudiados.

$$n = 8$$

Desviación standard ( $s$ ): Es la medida de dispersión para datos medibles o cuantificables.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{6493.2505}{7}}$$

$$s = 30.457$$

Estadístico ( $t$ ): Es la función que estimará el parámetro de distribución del que proviene la muestra.

$$t_{calculado} = \frac{(\bar{x} - \mu) * \sqrt{n}}{s}$$

$$t_{calculado} = \frac{(198.36 - 520.7) * \sqrt{8}}{30.457} = -29.935$$

El valor de  $t$  en la tabla t-student que divide la región de rechazo en dos colas de distribución con un nivel de significancia de 0.05 y n-1 grados de libertad es:

$$t_{teórico} = t_{0.05} = \pm 2.36$$

$$t_{calculado} > t_{teórico}$$

### **Decisión:**

Por tanto se ha de rechazar la hipótesis nula, al mismo tiempo que se acepta la hipótesis alterna, ya que el límite teórico difiere significativamente de la media experimental (Distancias Recorridas). Es decir que no existe evidencia de que la contaminación de cada especie llega en niveles contaminantes hasta el cuerpo de agua en un lapso de 10 años.

## CONCLUSIONES.

- Mediante el levantamiento de la línea base para la extractora PEXA S.A. y los muestreos realizados al interior de la piscina de oxidación se determinó que las descargas de aguas residuales presentan valores de Conductividad eléctrica, DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitratos y Fosfatos por fuera de los límites permisibles a su ingreso al tratamiento de las aguas residuales lo que comprueba la alta carga orgánica inicial en la que se encuentran estas descargas.
- El análisis de los sedimentos de las piscinas determinó que el cobre se encontró fuera de los límites permisibles en el primer análisis mientras que el plomo, cromo, cadmio, arsénico, Benceno, Tolueno y Xilenos presentan concentraciones dentro de los límites permisibles.
- La prueba de infiltración realizada al suelo de la Extractora PEXA S.A. determinó un valor de 62.35mm/h o  $1.734 \times 10^{-5}$  m/s al final del ensayo y una conductividad hidráulica de  $5.934 \times 10^{-6}$  m/s. Las condiciones hidrogeológicas e hidrodinámicas del AI presentan suelos arcillo arenosos y arcillosos de baja conductividad hidráulica con un nivel freático de 15m. de profundidad y una capa de sedimentos en su superficie.
- Mediante el análisis de la pluma de contaminación se puede determinar que la velocidad con la que se mueven los contaminantes es muy baja hasta llegar al nivel freático debido a la estructura del suelo al existir un frenado de los contaminantes por adsorción y por la naturaleza del sedimento que es de tipo lignocelulósico debido a la alta carga orgánica de las aguas residuales (que contienen raquis y cuesco de las plantas de palma) presentando una película muy poco permeable en el suelo de la Extractora.
- De las distancias recorridas por las plumas de contaminación se ha determinado que no llegan a afectar al cuerpo de agua que se encuentra a 520.7m. ya que estas llegan máximo a los 10 años hasta una distancia de 242.3m y con concentraciones dentro de los límites y criterios de calidad del suelo cuando alcanzan el nivel freático.

## **RECOMENDACIONES.**

- Se deben realizar muestreos periódicos de aguas y sólidos descargados en el sistema de tratamiento propuestos desde la gerencia de la Extractora con el fin de darle un seguimiento a los parámetros contaminantes y contrastarlos con la eficiencia del tratamiento implementado.
- Se recomienda que la gerencia de la Extractora analice la posibilidad de contratar un técnico ambiental que dé el seguimiento adecuado en los procesos que se realizan en la Extractora y asesore al personal en la toma de muestras para analizarlas y en el cumplimiento de buenas prácticas ambientales.
- En estudios posteriores se deberán incluir las variables de las condiciones hidrogeológicas e Hidrodinámicas del suelo, previo a un muestreo más específico para cada estrato del sector.
- Se recomienda que la Extractora vea la necesidad de obtener el equipo necesario para realizar los muestreos de sedimentos y aguas al interior de las piscinas de oxidación sobretodo de una canoa que brinde mayor estabilidad y seguridad para el equipo que muestrea.
- Es recomendable que se realicen otros estudios similares utilizando diferentes modelos matemáticos y de simulación para que puedan ser comparados y así obtener un modelo aplicable a diferentes condiciones y aplicando más variables de transporte y diagnóstico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**CHRISTENSEN & ELTON.** Transporte y destino de los contaminantes en el subsuelo “Manual agua subterránea”. Washington D.C.-USA. Environmental Protection Agency. 1989, Pp. 579-586

**FEBLES, J.L & HOOGESTEIJN, A.** Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación. Mérida-Yucatán-México. Editora de la FI-UADY. 2010, Pp. 127-137

**JIMÉNEZ, F.** Línea base para el manejo de cuencas hidrográficas. San José-Costa Rica. Turrialba. 2006, P. 15

**LAGREGA, Michael,** et al. Gestión de Residuos Tóxicos. México D.F.-México. Ingramex. 1998, Pp. 198-205

**ORDOÑEZ, G.** Cartilla técnica: Aguas Subterráneas-Acuíferos. Lima-Perú. Imprenta Ibegraf. 2012, Pp. 8-30.

**SOBREVILLA, C & BATH, P.** Evaluación Ecológica Rápida. Programa de Ciencias para América Latina. Arlington-Nueva York-Estados Unidos. Editorial The Nature Conservancy. 1992, Pp. 124-198.

**ASTM.** Modelización de la Migración de Contaminantes. 1995.

<http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=ContentDisposition&blobheadervalue1=filename%3DAnexo+2+GARSHE.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1196175286777&ssbinary=true>

2014-07-17

**BALSLEV, H. et al.** Catalogue of the vascular plants of Ecuador. 1999.

<http://www.mobot.org/mobot/research/ecuador/welcomesp.shtml>

2014-09-13

**DIAZ, Raúl.** Caracterización y Evaluación de riesgos Ambientales Ocasionados por el Derrame de combustible Suscitado en el Poliducto Esmeraldas-Santo Domingo en el PK-128+500 de EP

PETROECUADOR. (Tesis) M.Sc. en Gestión Ambiental. Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Dirección de Postgrado, Esmeraldas-Ecuador, 2012, Pp. 25-29

**LÓPEZ, María.** Estudio de la Contaminación por hidrocarburos volátiles en un sitio de Derrame de Gasolina, Colonia unidad de propósito. (Tesis) M.Sc. en Ciencias del agua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua, Managua-Nicaragua, 2005, Pp. 15, 16; 18-37

**INTRIAGO, R.** Industrialización de la Palma Africana. 2011.

<http://palma.aceitescomestibles.com/>

2013-11-14

**LAMAS, M. A.** El Biodiesel: Oportunidades de Agronegocio. 2010.

[http://palma.aceitescomestibles.com/index.php?option=com\\_taxonomy&tag=palma%20africana&view=blogtags](http://palma.aceitescomestibles.com/index.php?option=com_taxonomy&tag=palma%20africana&view=blogtags)

2013-11-14

**MUÑOZ, A.** Palma Africana en el Ecuador. 2002.

[http://agrytec.com/agricola/index.php?option=com\\_content&id=3468:palma-africana-en-el-ecuador&Itemid=43](http://agrytec.com/agricola/index.php?option=com_content&id=3468:palma-africana-en-el-ecuador&Itemid=43)

2013-12-15

**NEIRAL, J.** Lagunas de Oxidación o Estabilización. 2010.

<http://es.scribd.com/doc/43537626/Lagunas-de-Oxidacion-o-Estabilizacion>

2013-11-18

**SALAZAR, R.** Proyecto de la Palma Africana. 2011.

<http://es.scribd.com/doc/48854160/PROYECTO-DE-LA-PALMA-AFRICANA>

2013-11-14

**SINAGAP.** Censo Nacional Agropecuario para la Provincia de Esmeraldas del año 2012. 2014.

<http://sinagap.agricultura.gob.ec/resultados-provinciales/category/18-esmeraldas>

2014-12-12

**SOLANO, G.** Proceso de extracción de Aceite de Palma. 2011.

[http://www.extractoralasexta.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=78&Itemid=49](http://www.extractoralasexta.com/index.php?option=com_content&view=article&id=78&Itemid=49)  
2013-11-14

**CRUCES DE ABIA, Joaquín.** Modelo Modflow. Madrid-España. Escuela de Negocios del EOI Master en Ing. Medioambiental y Gestión del Agua. 2007, Pp. 4-5

[http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45452/componente45450.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45452/componente45450.pdf)  
2015-01-21

**ECUADOR.** Constitución de la República Título II, Capítulo Segundo, Sección Segunda; Artículo 14. Quito-Ecuador. 2008, P. 24

[http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion\\_de\\_bolsillo.pdf](http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf)  
2014-15-12

**ECUADOR.** Ley de Gestión Ambiental. Quito-Ecuador. 2004, Pp. 1, 5

[www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTIONAMBIENTAL.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTIONAMBIENTAL.pdf)  
2014-15-12

**ECUADOR.** Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente Libro VI Anexo II. Quito-Ecuador. 2003, P. 251

<http://www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambiental%20Digital/TULAS.pdf/LIBRO%20VI.pdf>  
2014-07-21

**GARCÍA, Martín & GARCÍA Manuel.** Estudio y aplicación de modelos acoplados de flujo y Transporte en Aguas Subterráneas. Madrid-España. Departamento editor de la Revista Tecnología y desarrollo de la Universidad Alfonso X. 2004, Pp. 5; 7-10

<http://www.uax.es/publicacion/estudio-y-aplicaciones-de-modelos-acoplados-de-flujo-y-transporte-en-aguas.pdf>  
2014-07-17

**IBAÑEZ, Sara**, et al. Características del infiltrómetro de doble anillo. Valencia-España. Departamento de producción vegetal de la escuela de Ingenieros Agrónomos de la U. Politécnica de Valencia. 2003, Pp. 5-8

<http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7840/AD%20Infiltrometro.pdf>

2015-02-19

**ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD**. Guía para el diseño de Tanques Sépticos, tanques Imhoff y Lagunas de estabilización. Lima-Perú. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2005, Pp. 23-26

<http://www.inaa.gob.ni/documentos/Normativas/documentostecnicos/Guia%20para%20el%20Disen%20de%20Tanque%20septico-%20Tanque%20Imhoff%20y%20Lagunas%20de%20estabilizacion.pdf>

2013-11-18

**SAIXSO, Héctor**. Manual de campo para el muestreo de bentos. Comodoro Rivadavia-Argentina. Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales. 2002, Pp. 20-23

[http://www.jfhcs.unp.edu.ar/catedras/ecologia\\_acuatica/ecologia\\_acuatica/Textos%20Ecol%20acuatica/Bentos.pdf](http://www.jfhcs.unp.edu.ar/catedras/ecologia_acuatica/ecologia_acuatica/Textos%20Ecol%20acuatica/Bentos.pdf)

2015-01-31

**SÁNCHEZ, Francisco Javier**. Ley de Darcy y Conductividad Hidráulica. Salamanca-España. Editado en el Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca. 2007, Pp. 1-4

[http://hidrologia.usal.es/temas/Ley\\_Darcy.pdf](http://hidrologia.usal.es/temas/Ley_Darcy.pdf)

2014-07-17

**SÁNCHEZ, Francisco Javier**. Transporte de Contaminantes. Salamanca-España. Editado en el Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca. 2012, Pp.1-7

[http://hidrologia.usal.es/temas/Transporte\\_de\\_contaminantes.pdf](http://hidrologia.usal.es/temas/Transporte_de_contaminantes.pdf)

2014-19-09

## ANEXOS

### Anexo A: Evidencia Fotográfica

- Muestreo y análisis realizados en la Laguna de oxidación de la Empresa Extractora de Aceite de Palma PEXA S.A.



**Piscina de Oxidación de PEXA S.A.**



**Draga tipo Ekman**



**Muestreo de Sedimentos**



**Muestreo del perfil de fondo**



**Muestreo de Sedimentos**



**Muestreo de Sedimentos**



**Toma de muestras de agua**



**Salida de la Draga de inmersión**



**Homogenización de las submuestras**



**Piscina de Oxidación PEXA S.A.**



**Recorrido dentro de la piscina de Oxidación**



**Equipo de flotación utilizado**

- Pruebas de infiltración dentro del área de las piscinas de oxidación de la Extractora PEXA S.A. y determinación de la densidad del agua en el laboratorio.



**Ingreso del anillo infiltrómetro**



**Colocación del anillo infiltrómetro**



**clavado del anillo infiltrómetro**



**Muestra del agua y picnómetro**



**Toma de temperatura ambiente**



**Pesaje de la muestra**

**Anexo B: Resultados del Laboratorio de los análisis físico-químicos realizados a las muestras en la piscina de oxidación.**

- **Muestra de las aguas descargadas a la piscina de oxidación.**

 <p><b>CESTTA</b> LABCESTTA SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p><b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 3013183 ESPOCH (FACULTAD DE CIENCIAS) RIOBAMBA - ECUADOR</p>	 <p><b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b> N° OAE LE 2C 06-008</p>
--	--	--

INFORME DE ENSAYO No:	2322
ST:	853 - 14 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario:	OCTAVO SEMESTRE DE BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL
Atn.	Ing. Cristian Gualli
Dirección:	Avda. Juan Felix Proaño y Filadelfia
FECHA:	26 de Noviembre del 2014
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2014/11/13 - 10:00
FECHA DE MUESTREO:	2014/11/07 - 15:00
FECHA DE ANÁLISIS:	2014/11/13 - 2014/11/26
TIPO DE MUESTRA:	Aguas residual
CÓDIGO LAB-CESTTA:	LAB-A 2226-14
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	8Biotecnología
PUNTO DE MUESTREO:	Piscinas de sedimentación de Pexa.
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Javier Basantes
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)	INCERTIDUMBRE (k=2)
Potencial Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/05 Standard Method No. 4500-H <sup>+</sup> B	Unidades de pH	6,08	-	±0,10
Conductividad eléctrica	PEE/LABCESTTA/06 Standard Method No. 2510 B	uS/cm	6680	-	±5%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/LABCESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	>5000	-	±15%
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	>1500	-	±5%
*Benceno	Cromatografía de gases	ug/L	< 0,01	-	-
*Tolueno	Cromatografía de gases	ug/L	< 0,01 *	-	-
*Xileno	Cromatografía de gases	ug/L	< 0,01	-	-
Fenoles	PEE/LABCESTTA/14 Standard Methods No. APHA 5530 C	mg/L	0,13	-	±7%
Nitratos	PEE/LABCESTTA/16 Standard Methods No 4500-NO <sub>2</sub> -B	mg/L	92,58	-	±11%

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados  
MC01-14

Página 1 de 2  
Edición 3

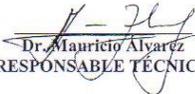
 <p><b>CESTTA</b> LABCESTTA</p> <p>SGC</p>	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 3013183 ESPOCH (FACULTAD DE CIENCIAS) RIOBAMBA - ECUADOR</p>	 <p><b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p> <p>Nº OAE LE 2C 06-008</p>
---	---	---

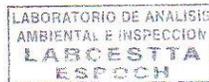
Fosfatos	PEE/LABCESTTA/21 Standard Methods No 4500-P B5/ 4500-PC	mg/L	>33		±15%
----------	---	------	-----	--	------

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
 Dr. Mauricio Alvarez  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



- Muestra de los sedimentos del fondo de la piscina de oxidación colectados en la primera visita a la Extractora.

 <b>LABCESTTA</b> Tecnología & Soluciones SGC	<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</b>  Panamericana Sur Km. 1 ½ Telef.: (03)2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR
---	--

**INFORME DE ENSAYO No:** 973  
**ST:** 14- 069 ANÁLISIS DE SUELOS  
  
**Nombre Peticionario:** NA  
**Atm.** Javier Basantes  
**Dirección:** Carondelet y Valenzuela  
  
**FECHA:** 23 de Junio del 2014  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 1  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2014/06/12 10:00  
**FECHA DE MUESTREO:** 2014/05/12 11:30  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2014/06/12 - 2014/06/23  
**TIPO DE MUESTRA:** Suelo  
**CÓDIGO LABCESTTA:** LAB-S 244-14  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** NA  
**PUNTO DE MUESTREO:** Laguna de oxidación #1  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Físico-Químico  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Mariuxi Morocho  
**CONDICIONES AMBIENTALES:** T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Cadmio	PEE/LABCESTTA/174 EPA 200.7	mg/kg	<0,05	-	-
Plomo	PEE/LABCESTTA/174 EPA 200.7	mg/kg	2,59	-	-
Cromo Total	PEE/LABCESTTA/174 EPA 200.7	mg/kg	10,49	-	-
Cobre	PEE/LABCESTTA/174 EPA 200.7	mg/kg	85,17	-	-
Arsénico	PEE/LABCESTTA/174 EPA 200.7	mg/kg	<0,5	-	-

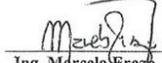
**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en laboratorio

**RESPONSABLES DEL INFORME:**

  
 Dr. Mauricio Álvarez  
 RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL  
 E INSPECCIÓN  
 LAB - CESTTA  
 ESPOCH

  
 Ing. Marcela Erazo  
 JEFE DE LABORATORIO

- **Muestra de los sedimentos del fondo de la piscina de oxidación colectados en la segunda visita a la Extractora.**

 <p>SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p><b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 3013183 ESPOCH (FACULTAD DE CIENCIAS) RIOBAMBA - ECUADOR</p>	<p><b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE</b></p> <p><b>ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008</b></p>

INFORME DE ENSAYO No:	2250
ST:	14- 133 ANÁLISIS DE SUELOS
Nombre Peticionario:	NA
Atn.	Javier Basantes
Dirección:	Carondelet y Valenzuela
FECHA:	24 de Noviembre del 2014
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2014/11/11 08:00
FECHA DE MUESTREO:	2014/11/07 16:30
FECHA DE ANÁLISIS:	2014/11/11 - 2014/11/24
TIPO DE MUESTRA:	Suelo
CÓDIGO LABCESTTA:	LAB-S 390-14
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	NA
PUNTO DE MUESTREO:	Quininde – Esmeraldas PEXA laguna de oxidación
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Javier Basantes
CONDICIONES AMBIENTALES:	T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)	INCERTIDUMBRE (k=2)
Potencial de Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/24 EPA 9045 D	Unidades de pH	8,18	-	±0,15
Conductividad Eléctrica	PEE/LABCESTTA/85 EPA 9045 D	uS/cm	1329	-	±5%
*Fenoles	ESPECTROFOTOMETRÍA	mg/Kg	< 0,0001	-	-
*Benceno	CROMATOGRAFÍA DE GASES	mg/Kg	0,00015	-	-
*Tolueno	CROMATOGRAFÍA DE GASES	mg/Kg	< 0,0001	-	-
*Xileno	CROMATOGRAFÍA DE GASES	mg/Kg	< 0,0001	-	-
*Cadmio	PEE/LABCESTTA/76 EPA SW- 846 N 3050B, 7130	mg/Kg	<0,05	-	-
*Plomo	PEE/LABCESTTA/78 EPA SW- 846 N 3050B, 7420	mg/Kg	5,78	-	-
*Cromo Total	PEE/LABCESTTA/197 EPA 3051 a / EPA 200.7 ICP	mg/Kg	17,2	-	-

 <p><b>CESTTA</b> <b>LABCESTTA</b> SGC</p>	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 3013183 ESPOCH (FACULTAD DE CIENCIAS) RIOBAMBA - ECUADOR</p>	<p align="center"><b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE</b></p> <p align="center"><b>ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008</b></p>
---	---	--

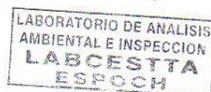
*Cobre	PEE/LABCESTTA/197 EPA 3051 a / EPA 200.7 ICP	mg/Kg	25,5	-	-
*Arsénico	PEE/LABCESTTA/197 EPA 3051 a / EPA 200.7 ICP	mg/Kg	0,75	-	-

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.

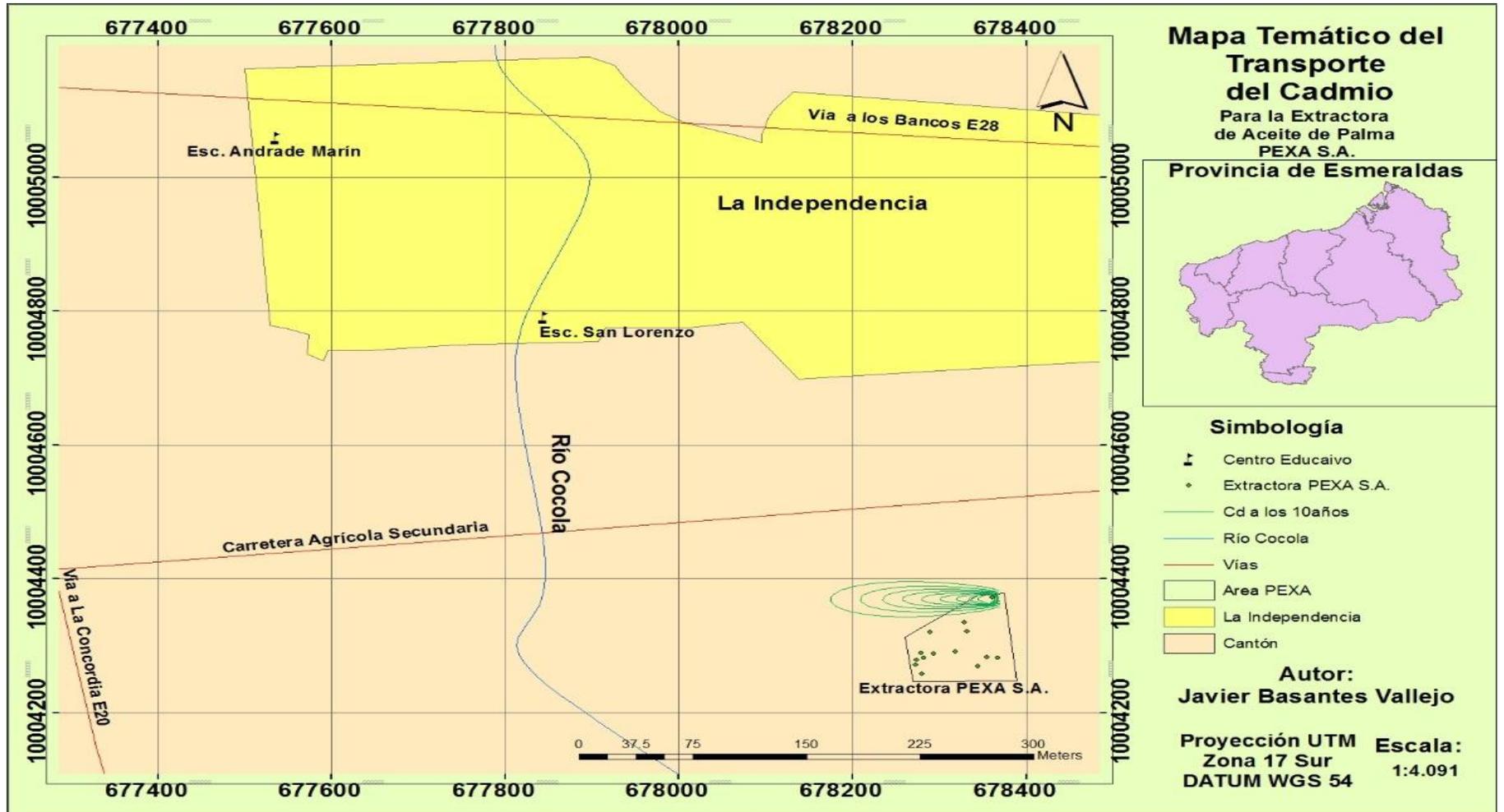
**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
**Dr. Mauricio Alvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

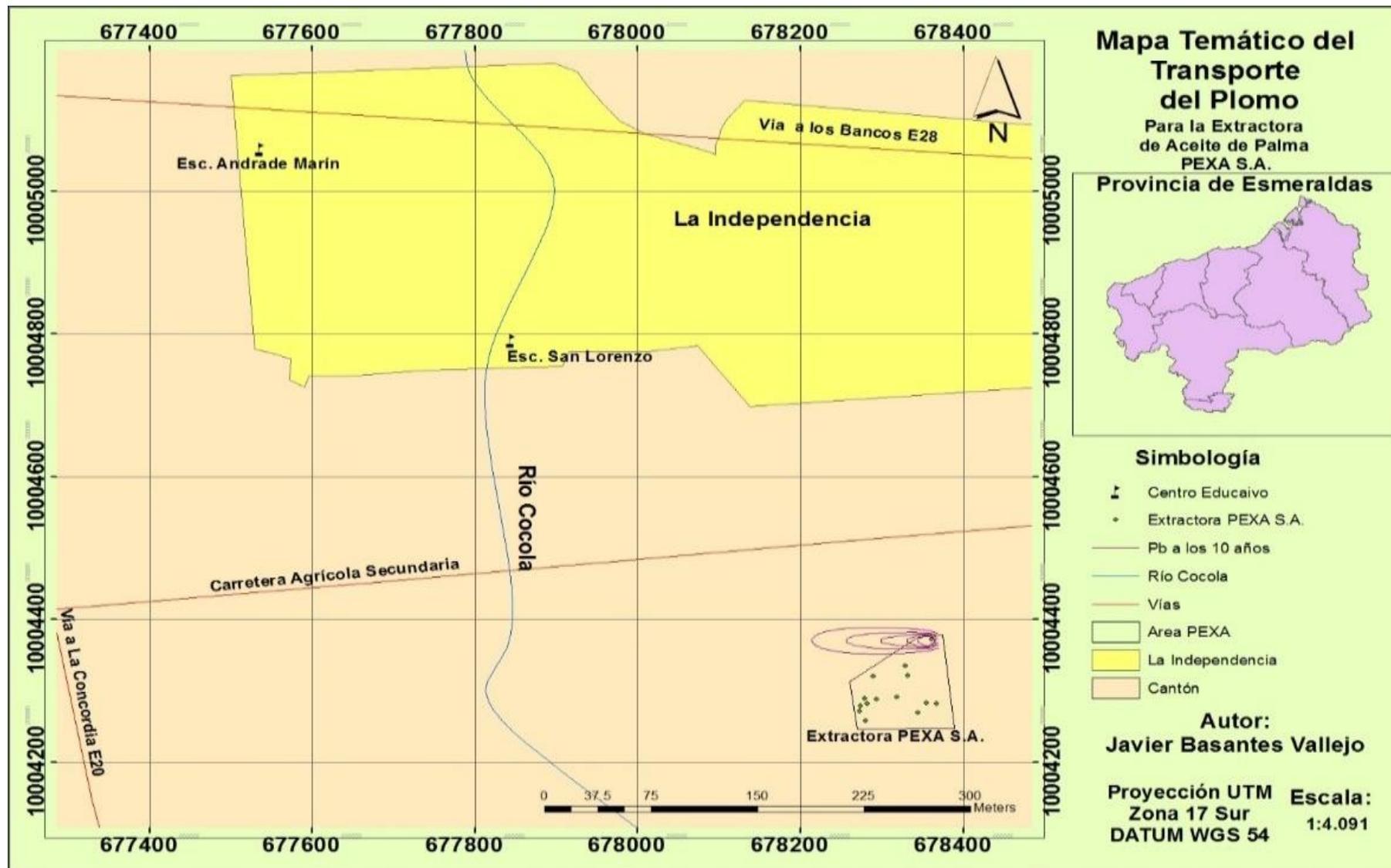


Anexo C: Mapas temáticos georreferenciados del avance máximo de la pluma de contaminación de cada una de las especies estudiadas

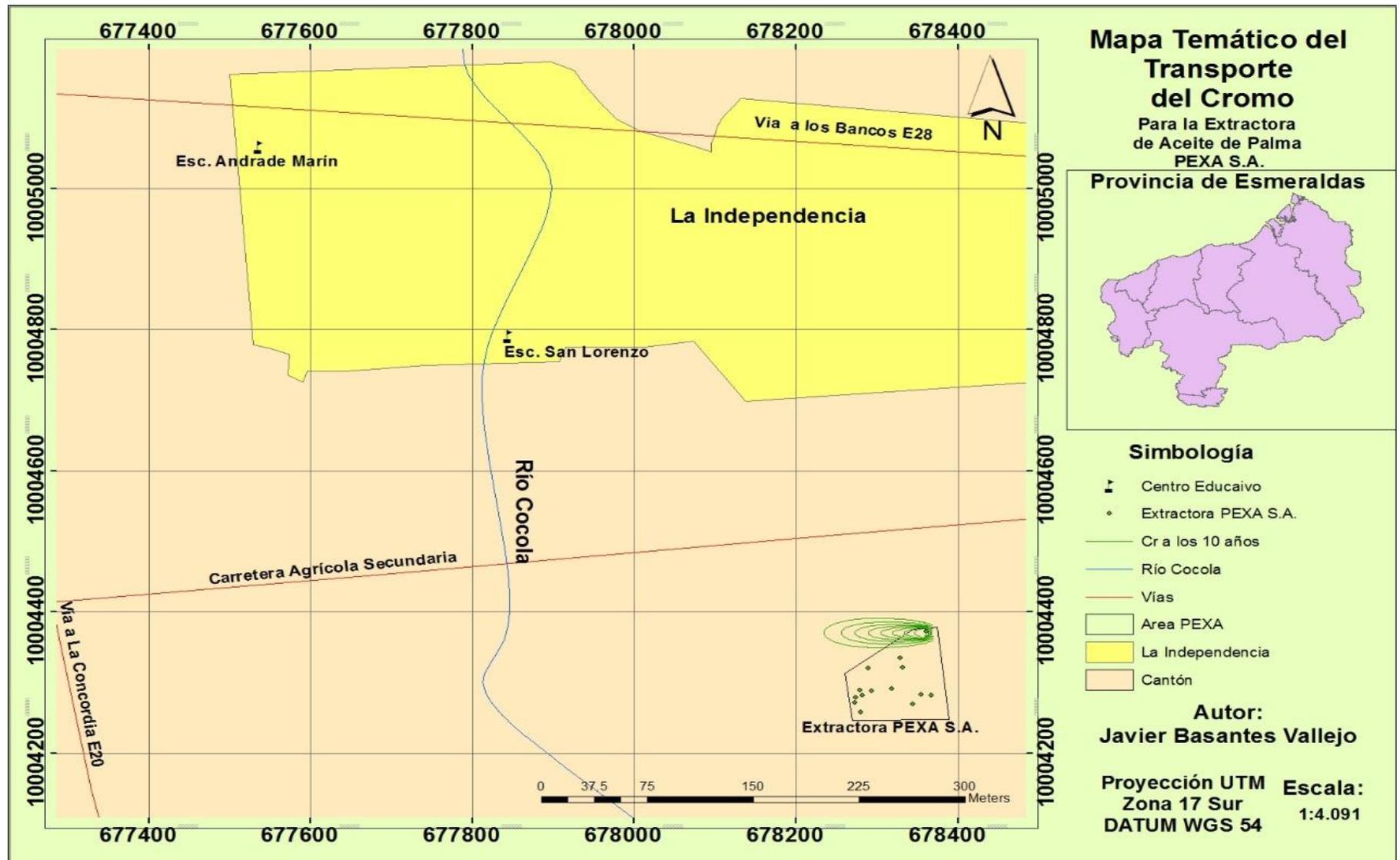
- Cadmio (Cd):



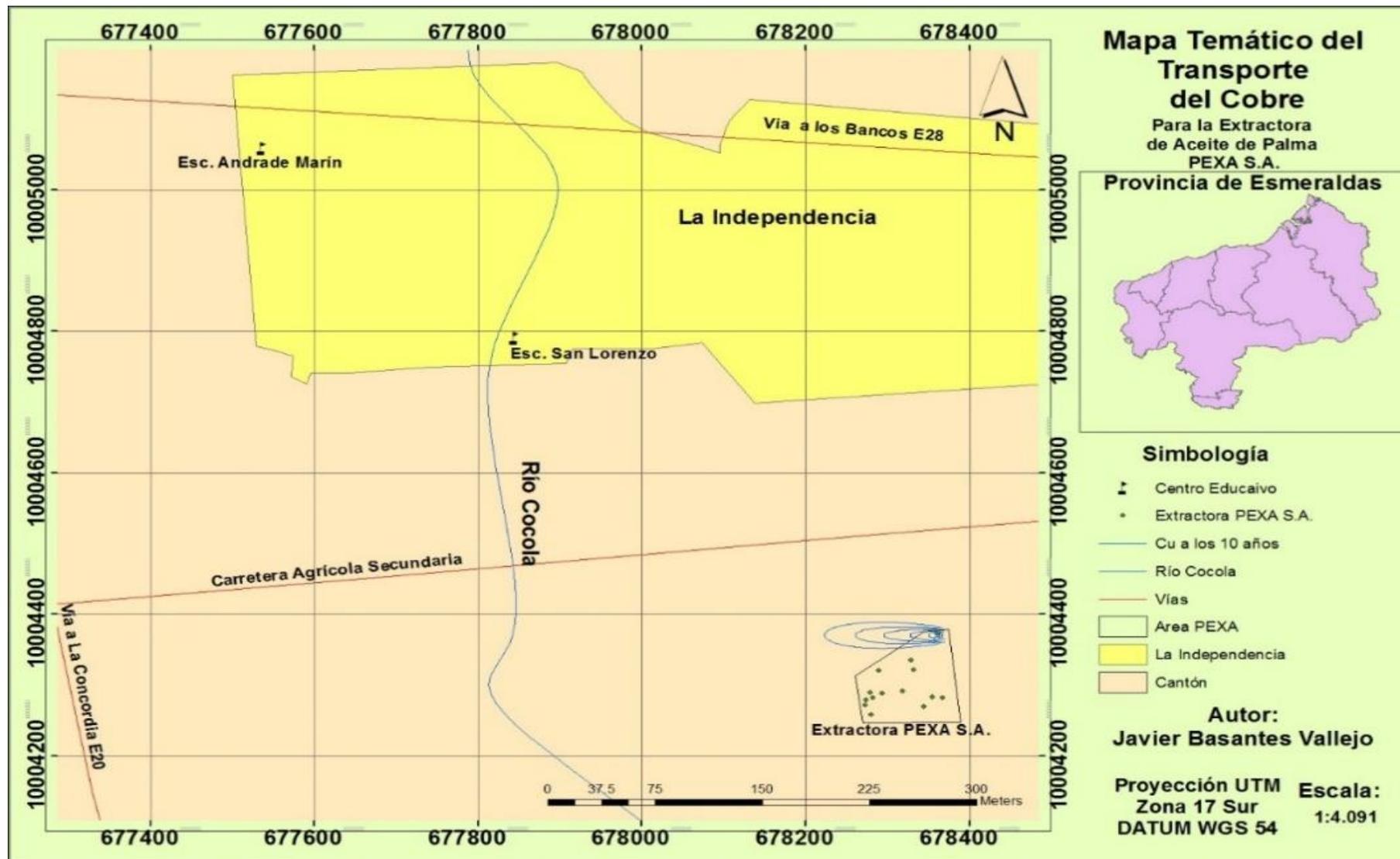
- Plomo (Pb):



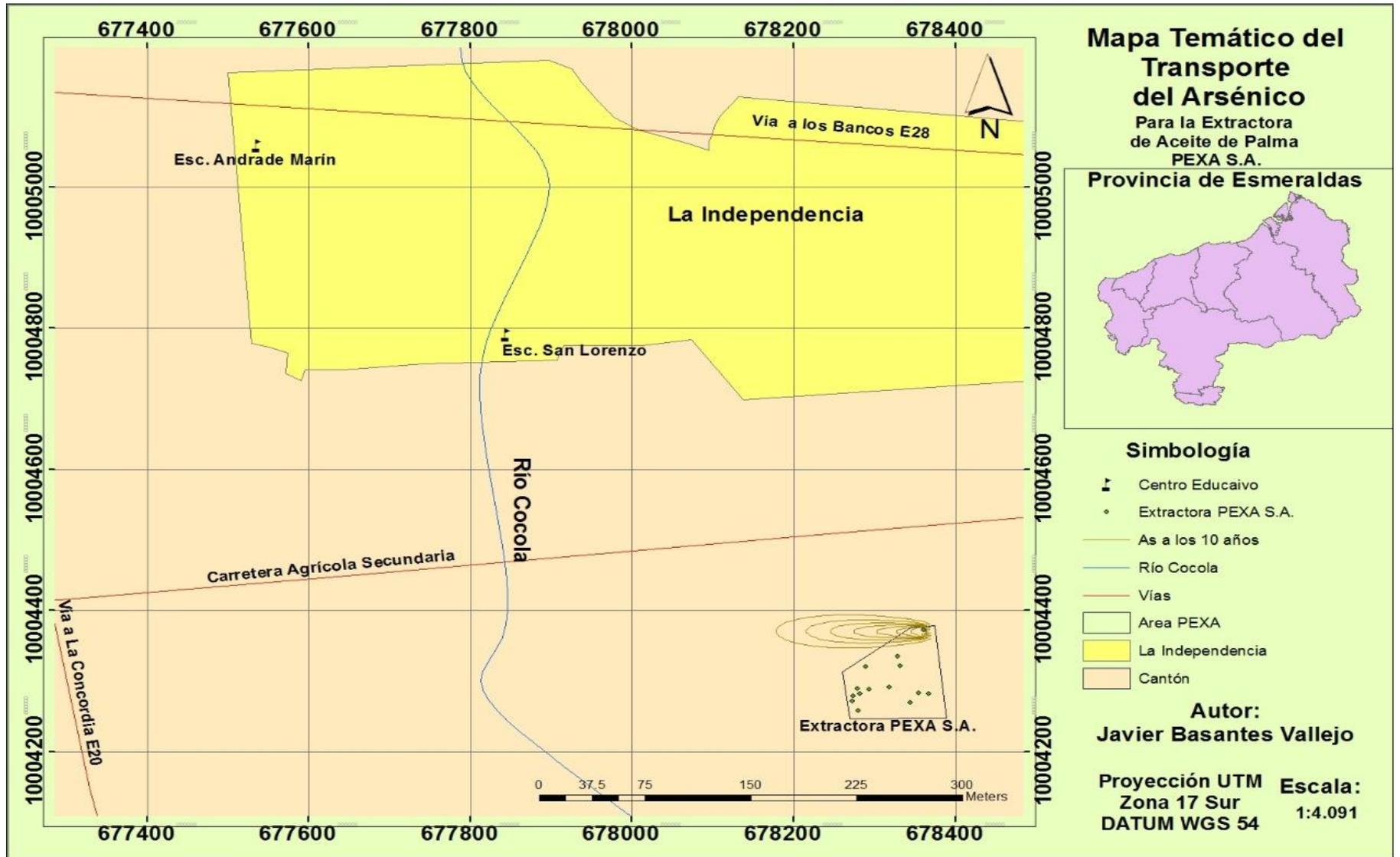
- Cromo (Cr):



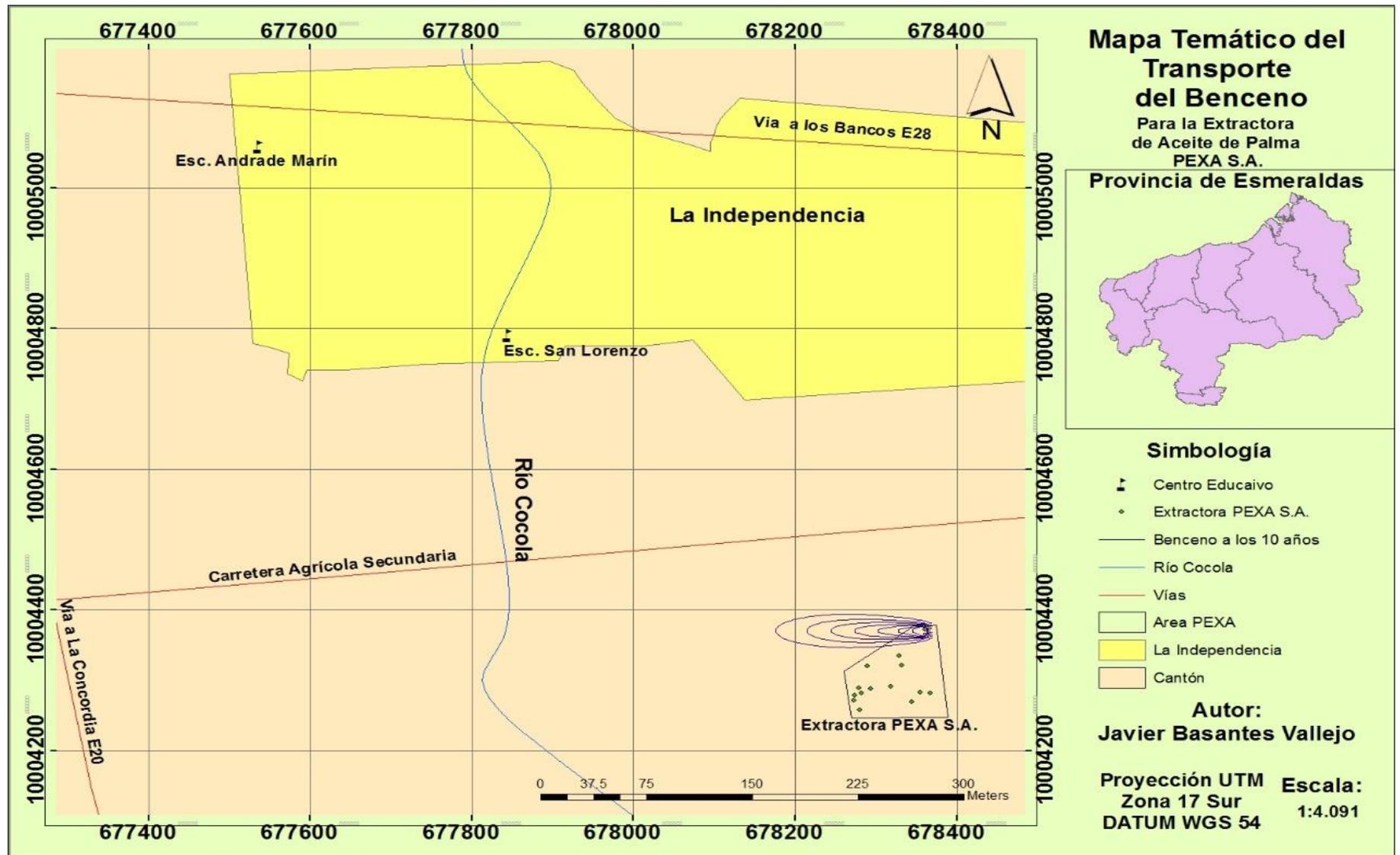
- Cobre (Cu):



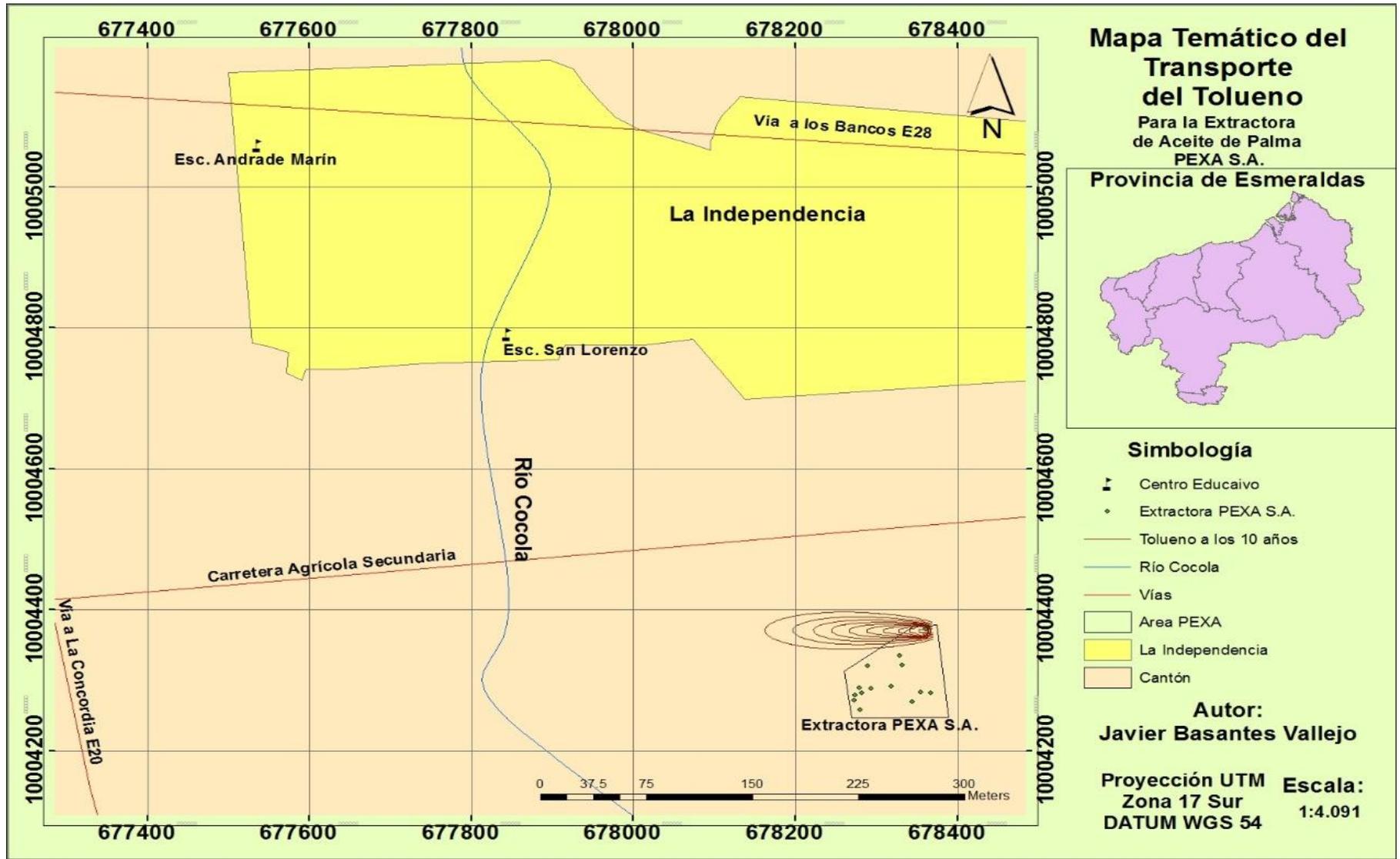
- Arsénico (As):



- Benceno:



- Tolueno:



- Xilenos:

