

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE
VALPARAÍSO**

Facultad de Recursos Naturales

Instituto de Geografía

**Evaluación de la Cuenca del Río Pedernal en
Función de su Utilización Agrícola Sustentable,
en Base a Parámetros Geográfico – Físicos, en la
Comuna de Petorca, Quinta Región**

Tesis Para Optar al Grado de Licenciado en Geografía y al Título de
Geógrafo

Por:

Bartolomé Salazar Müller

Profesor Guía: Osvaldo Ossandón Estay

1999

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que me han permitido llevar a cabo este trabajo de investigación. Deseo agradecer en forma muy especial a mi profesor guía y maestro, señor Osvaldo Ossandón Estay, por su constante apoyo y confianza, al Gobierno Regional V Región, por valorar y considerar este estudio como un aporte al desarrollo regional, al señor José Gaete, Director de Asuntos Estudiantiles de la UCV, por su apoyo y comprensión, y finalmente quiero agradecer al señor Rodolfo Allesch L., Director del Instituto de Geografía de la UCV, por su permanente disposición.

También quiero agradecer y reconocer, la amistad y camaradería de mis compañeros, que también ha sido un apoyo fundamental en este trabajo.

A Magdalena, Bartolomé, María Magdalena, Ernesto y Pamela

PRELIMINAR

Tu habitante rural que con tu quehacer cotidiano, nos brindas los más simples y preciados frutos de esta tierra, sigue tu senda virgen y no te dejes seducir por los ruidos y el neón, que son sólo fantasía de un segundo, arraiga tu destino a la madre naturaleza que nos acoge, así como lo hace el árbol al suelo y el mineral a la roca.

PRESENTACIÓN

El presente documento enmarca su temática y estructura, para el desarrollo del proyecto de tesis de titulación, con el fin acceder al grado de Licenciado en Geografía y el Título Profesional de Geógrafo de la UCV. Dentro de este esquema de presentación previa, se dará a conocer la estructura general de la investigación donde se explicitará el *planteamiento del problema* en términos generales, se presentará la estructuración del *marco teórico*, se definirá el *tipo de investigación* y se formulará la *hipótesis* de trabajo. De este modo es posible plantear la metodología que se utilizará en el estudio mismo.

Respecto del área que involucra la investigación, la cual está determinada por una entidad geofísica, que para el caso de este estudio es la cuenca del Río Pedernal que se estructura hidrográficamente de Norte a Sur y se manifiesta como tributario de la red de drenaje que determina el Río Petorca. Espacio donde se abordará el estudio geográfico de este sector en torno a la valorización actual del uso agrícola y su valorización potencial en términos sustentables, creemos, por nuestro estudio del área, que existen las condiciones de disponibilidad del recurso agua, básicamente de acuíferos subterráneos por las características intrínsecas de la cuenca; y a las características de suelo. Este tipo de identificación tiene estrecha relación con las técnicas agrícolas actuales.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.

1.1 Planteamiento del Problema.

El eje conductor de esta investigación está dado por la intención de generar un aporte claro a través del desarrollo de una propuesta analítica desde el punto de vista geográfico, donde el proceso de síntesis provoque un resultado con altos niveles de certidumbre, en relación con la evaluación de las variables que determinan la existencia y potencialidad de los recursos atinentes a una actividad económica sustentable. Es lo que entendemos como la evaluación de recursos geográfico - físicos en función de la actividad agrícola, en un sector, cuya vocación se ha perfilado en torno a las actividades de tipo rural, dentro de la Quinta Región en su sección nororiental. Donde los niveles de desarrollo en comparación con el resto de la Región, se han visto postergados y es así que la apuesta a este desarrollo, a lo menos, puede pasar por la optimización de la utilización de sus recursos, por lo que para maximizar su uso se hace necesario identificarlos y conocerlos, situación que determina el objetivo central del estudio con el complemento puntual de los objetivos específicos.

1.2 Objetivo Central.

Identificación y caracterización de los sectores de uso agrícola actual y potencial, en la Cuenca del Río Pedernal (Comuna de Petorca). En función de la disponibilidad del recursos hídricos y las características morfológicas de los

distintos tipos de suelo, las características estructurales de los distintos tipos de suelo y sus condiciones agroclimatológicas.

1.3 Objetivos Específicos.

- Caracterizar físicamente la Cuenca del Río Pedernal en los ámbitos: Geológico, Geomorfológico, Hidrográfico y Climático. Para llegar a la identificación de los procesos y entidades hidrogeológicas y morfológicas de la cuenca.
- Identificar la utilización actual de los diversos espacios del área de estudio, en torno al uso agrícola, con relación a las variables utilizadas en el estudio.
- Generar una cartografía temática donde se exprese el uso actual, las factibles aptitudes y el potencial nulo del desarrollo de la actividad agrícola en la Cuenca del Río Pedernal, sobre la base de las variables determinadas en el estudio, fundamentalmente en la componente hidrogeológica del sector.

La situación que justifica nuestro estudio, es la utilización óptima de los recursos del sector, para superar un contexto climático recurrente expresado en un semiárido que influye directamente en los regímenes de escorrentía superficial de la cuenca, factor que se aprecia influenciado por el componente litológico glacio - volcánico de alta permeabilidad, además de determinar la presencia de una vegetación xeromórfica. Así estas situaciones geográfico - físicas que a su vez nos dan como resultado un entorno hostil para el desarrollo humano, podrían convertirse en aliados de un posible desarrollo, ya que hoy existen las técnicas adecuadas para el aprovechamiento de un bien como el agua

subterránea, que constituye un 0.005% de las aguas del planeta; en función de un uso productivo y/o de subsistencia.

1.4 Marco Teórico.

Tomando en cuenta que los ámbitos principales que se han considerado para la investigación, son la caracterización e identificación de los recursos hídricos, pedológicos y climáticos; en función del desarrollo agrícola a partir de situaciones geográfico - físicas, que se puede identificar en la estructura de una Cuenca Hidrográfica, en este caso en el Río Pedernal. Los requerimientos teóricos dentro de esta sección de la disciplina geográfica, se manejan sobre la base de aspectos de orden geológico y geomorfológico, hidrográfico y climático, los cuales dentro de este esquema de investigación convergen hacia las situaciones anteriormente expuestas.

Como elemento relevante para nuestro estudio, se presenta la variable hidrogeológica, que es factible de analizarse desde el punto de vista del Ciclo Hidrológico donde se abordan indicadores como las precipitaciones, la evapotranspiración, la escorrentía, la infiltración, la dinámica de las aguas subterráneas y la descarga de los acuíferos subterráneos; indicadores que serán complementarios al estudio en la medida de su disponibilidad. Lo fundamental estará dado por la forma exploratoria del recurso hidrogeológico donde es posible encontrar distintas formas para su identificación, ya sea por:

- Métodos Geológicos.

- Métodos Hidrológicos.

- Métodos Geofísicos de Superficie.
- Sondeos de Reconocimiento.
- Otros.

Por razones de la naturaleza del estudio y por las características de formación del investigador se ha optado por utilizar Métodos Geológicos para caracterizar y señalar la ocurrencia de estructuras hidrogeológicas en la Cuenca del Río Pedernal, para lo cual se debe precisar información de orden petrográfica, estratigráfica, de geología estructural, geomorfológica y elementos morfológicos que se puedan complementar con fotointerpretaciones.

Para abordar la temática atinente a la caracterización de los suelos de la cuenca en estudio, se acude al esquema de perfil de suelo con sus horizontes, donde se utilizan Indicadores descriptivos y Clasificaciones interpretativas aspectos asociados a Series de suelos (CIREN CORFO), con expresión cartográfica. Donde dentro de los indicadores descriptivos se tiene *Textura* (basada en el triángulo textural), *Profundidad*, *Pendientes*, *Pedregosidad* y *Rocosidad Superficial*, *Erosión*, *Drenaje* e *Inundaciones*. Para el caso de las Clasificaciones interpretativas se han tomado en cuenta la *Capacidad de Uso de los Suelos*, *Categorías de Suelos para Regadío*, *Clases de Drenaje*, *Clase de Aptitud Frutal*, *Aptitud Agrícola o Forestal* y *Situación Actual de Erosión*; además de *Caracterización de Ordenes de suelos*.

En la identificación de parámetros climáticos dentro de la cuenca para los objetivos establecidos, los indicadores se presentan en razón de la vida vegetal para lo cual se consideran las *Precipitaciones, Temperatura, Humedad relativa, Radiación solar e Insolación*. Lo que implica caracterización de Áreas Climáticas Homogéneas, donde los parámetros climáticos se asumen como *Precipitación y Temperatura*, lo cual permite trabajar con la determinación de Distritos Agroclimáticos (CIREN CORFO), con su correspondiente expresión cartográfica y una división de estacionalidad estival e invernal, asociadas a las condiciones hídricas y térmicas antes aludidas.

1.5 Marco Conceptual.

Con el objeto de proporcionar antecedentes técnicos con respecto a las temáticas puntuales a abordar en el presente estudio, las cuales tienen como rol dirigir la investigación hacia conclusiones objetivas y abiertas, de orden espacial fundamentalmente, se explicitarán en este acápite conceptos y bases geográficas respecto de las formaciones y unidades geológicas, descripciones de suelos y las caracterizaciones agroclimáticas, del área de estudio, acepciones conceptuales cogidas de estudios emanados para configurar las hojas “Quillota y Portillo” (1993) del SERNAGEOMIN, para la información geológica; y agrológicos realizados por CIREN-CORFO, compilaciones que han sintetizado diversos elementos físicos organizados en formaciones, unidades, series y distritos llevados a expresiones cartográficas, situación que optimiza el análisis de los parámetros planteados metodológicamente, lo cual implica un acceso satisfactorio a los objetivos establecidos con anterioridad.

En primera instancia se hace mención al manejo de la nomenclatura geológica del sector, que expresa procesos de formación, petrografía, edades radiométricas (cronología geológica) y situaciones de carácter específico para cada segmento explicado, así como también se alude a procesos en el ámbito Cuaternario, situación que toma mayor relevancia en el aspecto de caracterización de suelos y el análisis geomorfológico.

Para lo que compete en la identificación de las características pedológicas del sector, se procede a detallar las entidades descriptoras consideradas en las series de suelos que se harán mención, series que se apelan con una clave para su explicación y simplificación gráfica.

1.6 Hipótesis.

La hipótesis de trabajo subyace en: un porcentaje no inferior al 25% de la superficie de pendiente igual o inferior a 30%, en la cuenca del Río Pedernal, se presentarían condiciones de disponibilidad de agua subterránea en correlación a suelos aptos para la actividad agrícola.

1.7 Metodología.

El proceso metodológico elaborado para la realización de la presente investigación; cuyo fin es generar una síntesis de elementos geográfico –físicos, con impacto sobre una potencialidad económica en la Cuenca del Río Pedernal, Comuna de Petorca; consta de cuatro formas de adquisición de información,

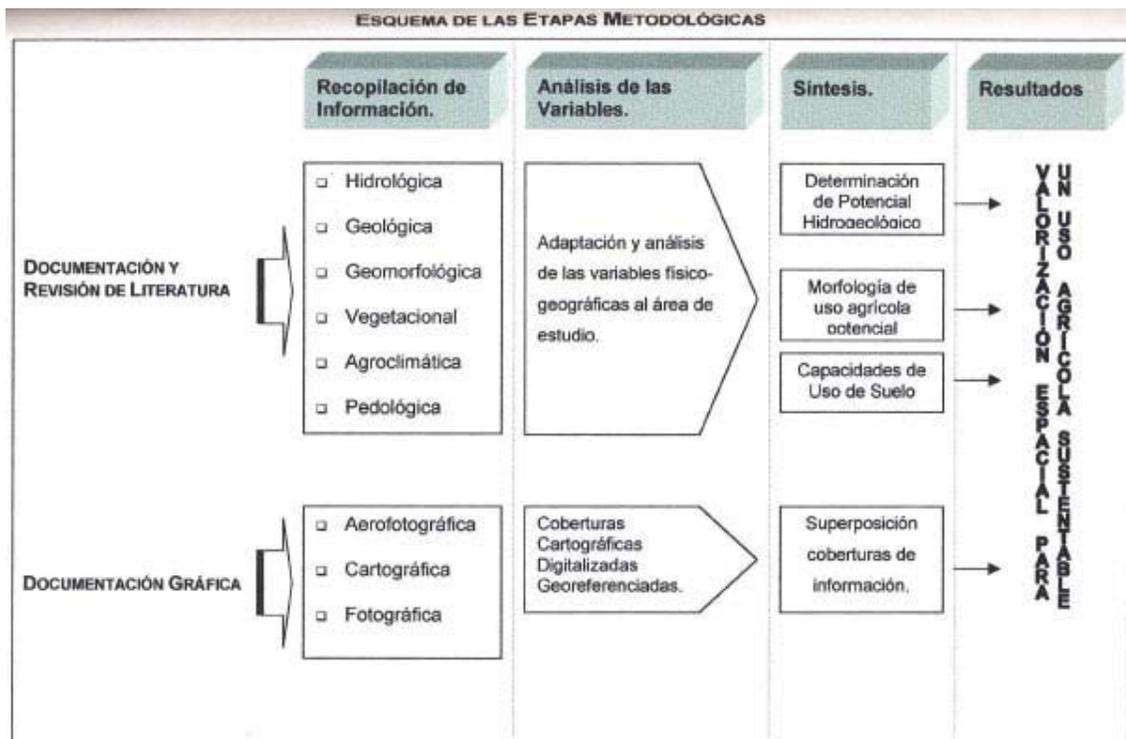
tres de las cuales están constituidas por documentación expresada como *Literatura específica y Antecedentes escritos, Gráficas de carácter Cartográfico y Fotográfico, y Estadísticas*. Las *Actividades de Terreno*, constituyeron otra forma de adquirir antecedentes respecto del área de estudio.

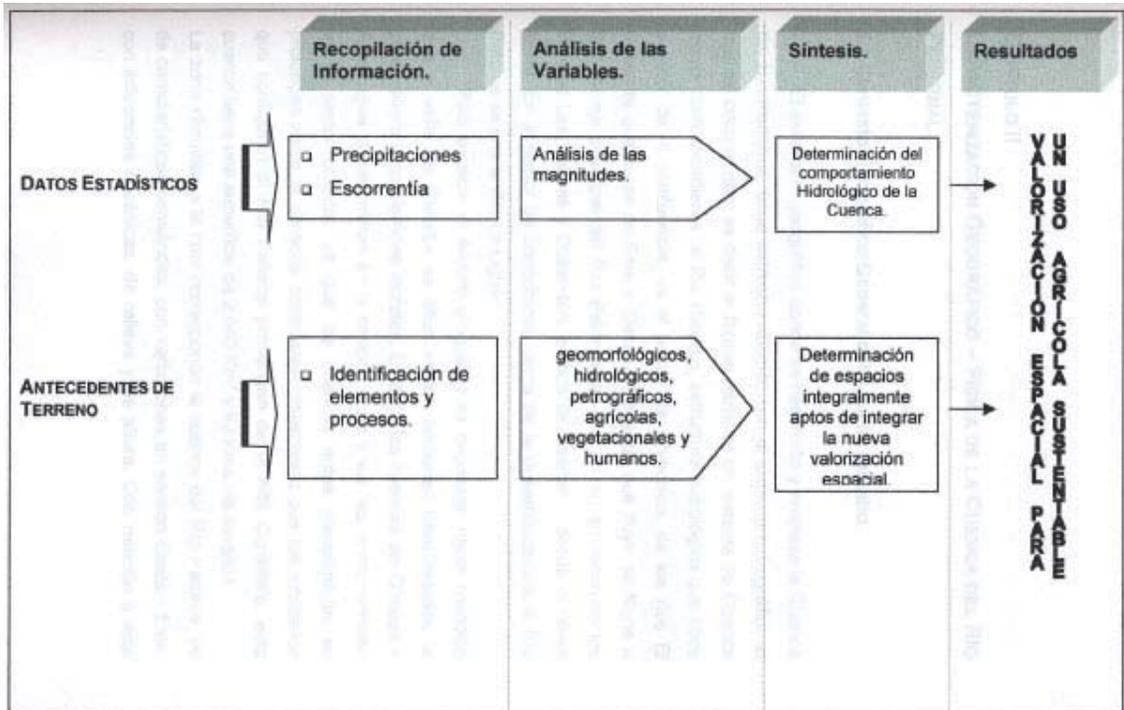
La documentación escrita ha permitido generar un panorama de referente a la **caracterización** Hidrogeológica, Geológica, Geomorfológica, Climática y Pedológica del espacio en cuestión. Respecto de los documentos gráficos, la cartografía de tipo Topográfico, Geológico, Agroclimático y Pedológico aporta la **expresión espacial de los parámetros**, definiendo el área de trabajo, así como la documentación fotográfica tanto aérea como de paisaje implican un **análisis morfológico** con más detalle. La información estadística tiene la función de dar el **marco de magnitudes** de los fenómenos climáticos (precipitaciones) e hidrológicos (escorrentía superficial) a través de sus indicadores. A su vez la interacción de información de carácter escrito y gráfico en lo que se refiere a clima y suelo conforman la síntesis de información asumida como Distritos Agroclimáticos y Series de Suelo respectivamente, lo que permite un tratamiento de la realidad espacial de una forma más precisa y completa.

En lo referente al trabajo de terreno, es necesario decir que en primer término ha permitido una observación de los parámetros como un todo, para luego permitir la corroboración de aspectos hidrológicos, geomorfológicos, petrográficos, vegetacionales y agrícolas; con mayor particularidad. La segunda instancia que ha revelado las actividades de terreno, es visualizar y cotejar el contexto físico – humano de la Sub - Cuenca, dicho de otro modo el “escenario” donde se enmarca el área de estudio, por ejemplo apreciaciones acerca de parámetros hidrográficos, morfológicos, vegetacionales y humano –

económicos, del resto de las unidades hidrográficas que conforman la cuenca del Río Petorca, como lo son el propio Río Petorca, Río El Sobrante, Estero Las Palmas, Estero Ossandón y Estero Longotoma, situación que ha permitido complementar la etapa de las conclusiones del estudio.

De un modo u otro, la estructura metodológica apunta a la síntesis de la caracterización geográfico - física, la espacialización de los parámetros, la evaluación de magnitudes y la visualización integral de los elementos como una realidad espacial, vía operacional que arroja resultados en cuanto a una valorización agrícola al interior de la unidad hidrográfica entendida como la Cuenca del Río Pedernal, tributaria del Río Petorca.





CAPÍTULO II CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICO – FÍSICA DE LA CUENCA DEL RÍO PEDERNAL.

2.1 Contexto Geográfico General del Área de Estudio.

El escenario geográfico donde se desarrolla y emplaza la Cuenca del Río Pedernal, tiene estrecha relación con el sistema hidrográfico al cual se circunscribe, es decir el formar parte de un sistema de Cuenca mayor correspondiente al Río Petorca, estructura hidrológica que nace a partir de la confluencia, en el sector de Chicolco, de los ríos El Sobrante que cursa de Este a Oeste y Pedernal que fluye de Norte a Sur. Al eje principal del Río Petorca, se suman en su recorrido los Esteros Las Palmas y Ossandón, ambos se insertan desde la ribera Norte. En el sector de Longotoma, cerca de la desembocadura el Río Petorca se une al Río La Ligua.

Para explicar el ámbito orográfico es necesario hacer mención que el valle del Petorca se sitúa entre cordones transversales, la precordillera y las planicies litorales. Es decir las cuencas del Choapa y Aconcagua la determinan en la sección norte y sur, así como también en el sector oriental, ya que las cuencas antes mencionadas se prolongan hacia la divisoria continental, impidiendo que los tributarios que configuran al Río Petorca provengan de la Alta Cordillera, esta cuenca tiene una superficie de 2.040 Km² y 92 Kms. de longitud.

La zona climática a la cual corresponde la cuenca del Río Petorca, es de características semiáridas, con variaciones en sentido Oeste - Este, con influencias oceánicas, de relieve y de altura. Con relación a este ámbito climático, es necesario mencionar que la alimentación de la red hidrográfica es de origen pluvio - nival.

Además de la relación geográfico - física del área en estudio con la cuenca del Río Petorca, existe la relación con el aspecto político - administrativo, correspondiente a la Provincia de Petorca, Comuna de Petorca, espacio administrativo que alberga a la Cuenca del Río Pedernal, área de estudio que ocupa un 23% de la superficie comunal. Esta comuna tiene una población total de 9.273 habitantes según el Censo de 1992, cuenta con 30% de su población en los centros urbanos de Petorca y Chicolco, y una población rural de 6.537 habitantes, en lo que a pobreza comunal se refiere, esta alcanza al 38,2%, además de un nivel de alfabetismo que sólo alcanza al 86,67%. Respecto a la Cuenca en estudio, la población de características rurales se aproxima a las 700 personas, así según los indicadores comunales antes señalados, encontramos nuestra área de estudio en un escenario a nivel Regional bastante precario, pero no por ello sin perspectivas de desarrollo y consolidación.

La economía desarrollada en la Comuna, tiene estrecha relación con la estructura poblacional y los recursos naturales, siendo las principales actividades la minería y la agricultura. La minería fundamentalmente metálica ha ido decayendo en su producción y fundamentalmente en su impacto a nivel Provincial y Comunal. En el tema agrícola, la Comuna evidencia diversos estadios de desarrollo agrícola, donde la actividad frutícola se perfila como la carta de desarrollo más adecuada, ya que su existencia se relaciona a la gran propiedad, el riego tecnificado y la posibilidad de optimizar el escaso suelo de

fondo de valle, por otro lado la actividad hortícola se advierte precariamente desarrollada debido a las condiciones climáticas, al igual que la actividad ganadera, principalmente ganado caprino.

2.2 Características Geológicas.

Para poder establecer un correcto análisis geológico y estructural, de la unidad hidrográfica correspondiente al Río Pedernal, se han utilizado las explicaciones correspondientes a los levantamientos geológicos del Cuadrángulo Petorca 1: 50.000 realizado en 1986 y la Hoja Quillota – Portillo 1: 250.000 terminada en 1993, ambos estudios configurados como síntesis de trabajos regionales anteriores, donde el Cuadrángulo Petorca aporta información importante y específica para el área de estudio y la Hoja Quillota – Portillo constituye un aporte de información en términos más globales. De este modo, se asumen que dicha caracterización se presenta como un aspecto fundamental para el desarrollo de los aspectos esenciales del estudio como lo son los ámbitos Hidrogeológicos, Geomorfológicos, Hidrográficos y composición Pedológica del sector en cuestión.

La configuración geológica de la Cuenca del Río Pedernal, principalmente se constituye de rocas volcánicas correspondientes tanto a un volcanismo de carácter fisural como a génesis y transformación litológica por un centro eruptivo asociado a la estructura de caldera volcánica (Caldera Morro Hediondo y su ambiente contiguo). Dicha situación geológica corresponde a las formaciones Cerro Morado, Las Chilcas y Lo Valle, explicadas en el Cuadrángulo Petorca y su expresión cartográfica, Hoja Quillota – Portillo, facilita la relación establecida entre las unidades conformantes. Por esto en la

Hoja Quillota – Portillo debido al macronivel de información que contiene, se han integrado las formaciones Cerro Morado y Lo Valle a la gran Formación Salamanca, que en la disposición de la cuenca corresponde, en el caso de la Formación Cerro Morado a la sección occidental de ésta y para el área de la Formación Lo Valle ésta se dispone en la sección oriental y parte de esta también se encuentra en la sección occidental de la cuenca en menor extensión. Así la edad de génesis para la Fm. Las Chilcas se ha datado en torno al Cretácico Inferior alto, en tanto para las Formaciones Cerro Morado (Fm. Salamanca parte occidental) y Lo Valle (Fm. Salamanca parte oriental) sus edades quedan comprendidas en el Cretácico Superior. Contribuyendo con este contexto de volcanismo fisural, se suma la aparición del centro eruptivo hacia el Cretácico Superior donde la estructura de caldera volcánica asociada al Morro Hediondo influye en la sección centro – occidental de la cuenca irrumpiendo en las estructuras estratificadas de las rocas volcánicas, principalmente andesitas de la Formaciones Cerro Morado, Las Chilcas y Lo Valle.

Dentro de este ámbito de rocas volcánicas, se manifiesta la intrusión de rocas magmáticas, dada a partir de tres grupos, por un lado un batolito monzogranítico correspondiente a la Unidad Chalinga de edad Cretácica Inferior, dispuesto en forma casi tangencial a la estructura hidrográfica de la cuenca en estudio, en su parte occidental; un extenso batolito monzodiorítico en la sección oriental de la cuenca asociado a la Unidad Fredes de edad Paleocénica (Terciario); y un tercer grupo formado por stocks, diques y filones pertenecientes a la Unidad San Lorenzo de edad Cretácica Superior a Paleocénica.

Otro aspecto geológico de relevancia, tiene que ver con diversas zonas de alteración hidrotermal asociadas a eventos magmáticos del Cretácico Inferior

cuya acción generó alteraciones donde predomina la argilización, y la alteración por silicificación asociada al Cretácico Superior.

2.2.1 Formación Cerro Morado (Fm. Salamanca sector occidental)

La Formación Cerro Morado se presenta en el sector centro – occidental de la estructura de la cuenca la cual se compone de una sucesión de lavas y brechas andesíticas con intercalaciones de tobas y areniscas – tobáceas de color rojizo. El techo de esta unidad corresponde a las brechas – conglomerádicas de la Fm. Las Chilcas, las que sobreyacen de manera concordante. Respecto de las andesitas y brechas que constituyen la unidad geológica, estas presentan un aspecto macizo de estratificación grosera, el color de las volcanitas es gris – violáceo a gris – verdoso, en el caso de la estratificación de las tobas y areniscas – tobáceas la que se presenta concordante con un buzamiento monoclinial hacia el Este, pero se muestra desplazado por numerosas estructuras falladas. Dicha inclinación hacia el oriente desde la sección occidental puede incidir en efectos de carácter hidrogeológicos analizados en mayor grado en la caracterización hidrográfica – geológica de la cuenca.

Los componentes de las andesitas del sector corresponden a fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos. En cuanto a las brechas, estas se componen de clastos angulosos andesíticos, de distintos tamaños, insertos en una matriz toba. La característica recurrente de estas volcanitas es su leve alteración asociable a un metamorfismo regional de bajo grado.

La formación dentro del contexto de la cuenca se presenta intruida por el Batolito monzodiorítico cuarcífero de edad Cretácica Superior (86 ± 3 Ma) correspondiente a la Unidad Chalinga (Kil), y además existen zonas de alteración hidrotermal entorno a la entidad batolítica antes mencionada.

2.2.2 Formación Las Chilcas

Tomando en cuenta que la Fm. Las Chilcas, así como otras unidades geológicas que integran el área de estudio, hacen referencia a macrosectores respecto del nivel escalar del presente estudio, se hace necesario mencionar que existen matices litológicos respecto de las explicaciones generales, propias del sector en estudio, siendo la unidad más antigua correspondiente al Cretácico Inferior (Turoniano 90 Ma. – Barremiano 130 Ma.). Esta formación se dispone de norte a sur albergando el eje de Río Pedernal y de manera proporcionada en los sectores laterales del eje, salvo por la irrupción de la Fm. Cerro Morado en el sector occidental – centro de la cuenca, situación asociable al evento eruptivo dado por la caldera volcánica del Morro Hediondo que está fuera de la unidad hidrográfica, pero su influencia y alteraciones geológicas se manifiestan al interior de la cuenca en estudio, explicando también el buzamiento monoclinial de la estructura estratificada hacia el Este desde la vertiente occidental. Sumado a esta situación geológica de data cretácica, sobre esta formación se han depositado todos los sedimentos cuaternarios aluviales y coluviales correspondientes a la cuenca, los que son fundamentales en la configuración de los resultados en relación con los objetivos de esta investigación.

La Fm. Las Chilcas se encuentra conformada por un conjunto de brechas – conglomerádicas y conglomerados de aspecto pardo – violáceo, con

intercalaciones de areniscas – tobáceas, lavas y brechas andesíticas, donde en el valle del Río Pedernal alcanzan un espesor superior a 1200 m., de todas maneras existe gran concordancia con la Fm. Cerro Morado, a lo menos se identifica un engrane lateral, representando en su parte oriental condiciones de mayor sedimentación. En términos generales esta formación aparece bien estratificada en capas de 10 m. de potencia, debido a una menor dureza respecto de su ámbito litológico circundante, las formas de este paisaje lo constituyen planicies y lomajes suaves fácilmente identificables en terreno. Al igual que las demás unidades constituyentes de la geología de la cuenca, en la Fm. Las Chilcas se presenta una intensa alteración hidrotermal, que se manifiesta en una silicificación y argilización selectiva de brechas y tobas, en los niveles que pueden presentar mayor porosidad.

En cuanto a las brechas – conglomerádicas, que aparecen con un color gris – rojizo, además de estar constituidas por fragmentos volcánicos entre un 50 a 70%, sub – redondeados, con dimensiones de hasta 0,5 m., los cuales están insertos en una matriz arenoso – tobácea, que suele estar alterada hidrotermalmente. Los conglomerados aparecen de color gris, conformadas por clastos volcánicos entre un 80 a 90%, redondeados, en disposición alongada paralela a la estratificación e inmersos en una argamasa arenosa, gruesa y alterada en algún grado.

Aparte de la intrusión de filones y diques del Cretácico Superior (84 – 79 Ma.), la Fm. Las Chilcas se encuentra subyacente a las lavas de la Fm. Lo Valle igualmente del Cretácico Superior (80 – 82 Ma.) tanto en la parte centro – occidental de la cuenca de Río Pedernal, como mayoritariamente se dispone en la sección oriental de dicha cuenca.

2.2.3 Formación Lo Valle (Fm. Salamanca sector oriental)

Existen básicamente dos sectores en la cuenca del Río Pedernal, donde se desarrollan los afloramientos de la Fm. Lo Valle, por la parte centro – occidental, está el área fuertemente determinada por la posible estructura de caldera volcánica en el sector del Morro Hediondo. El otro sector que constituye la Fm. Lo Valle se encuentra en la sección oriental dispuesta de Norte a Sur, donde cuyas entidades morfológicas representativas se pueden considerar los cerros Palpalén, La Pila, Baltazar y Maitén. Las rocas que se asocian al centro eruptivo Morro Hediondo, corresponden a lavas y brechas andesíticas y tobas lapilli dacíticas, esta estructura anular asociable a un cono volcánico, el cual se dispone parcialmente en el sector occidental de la Cuenca, y en el sector oriental se aprecia cierta discontinuidad en los diques. Las tobas lapilli dacíticas que afloran en los cerros La Tenca y Baltazar, son macizas y con débil bandeamiento, son clastos líticos volcánicos y pómez, insertos en una matriz vítrea con feldespato y biotita. Presentan moderada alteración de clorita, calcita y minerales arcillosos. Al igual que en el cerro Bayo y el Morro Los Portillos, estas tobas se exponen en su cumbre, y de manera reducida en la cima del cerro Carén. En los cerros Alquitrán, Altos de Carén y Mo. Morado, las rocas más abundantes son las andesitas, que presentan un aspecto macizo, y coloraciones que van del gris al gris – verdoso, las que también se encuentran estratificadas en coladas de 5 a 30 m. de potencia en el Co. Bayo, estas rocas tienen una textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa y piroxeno. El centro volcánico, correspondiente a los cerros Bayo, El Molino y Mo. Negro, tiene una edad cretácica superior según la datación de las tobas lapilli dacíticas (86 ± 3 Ma) y las andesitas (80 – 82 Ma), en esta caldera volcánica aparecen

de forma subordinada brechas andesíticas intercaladas con las andesitas, rocas de color gris, con fragmentos volcánicos menores a 20 cm., en una matriz tobácea, con incipiente alteración a clorita.

La franja oriental de la Fm. Lo Valle, está compuesta a partir de la alternancia de andesitas porfídicas y brechas andesíticas, con un aspecto macizo, con una estratificación gruesa. Estas volcanitas son duras y resistentes, encontrándose cruzadas por diques y filones andesítico – dacíticos, presentando una débil pero persistente alteración a clorita y epidotita. En el Mo. Los Portillos, de este sector, reconociéndose en su base, un nivel de tobas lapilli dacíticas, similares a las asociadas al centro eruptivo Mo. Hediondo. Hacia el sector norte y sudeste, la franja está intruida por plutones de 67 – 60 Ma.

Pasando al escenario configurado por las rocas intrusivas, podemos señalar que existen abundantes afloramientos de plutones, de dimensiones reducidas, representados por las Unidades Chalinga, San Lorenzo y Fredes, siendo la Unidad Chalinga la más antigua, formada por monzodioritas cuarcíferas situada en el margen centro occidental del área de estudio. Los sectores más jóvenes, denominados Unidad San Lorenzo de edad cretácica superior a paleocénica y la Unidad Fredes de edad paleocénica a eocénica, conforman numerosos stocks, diques y filones dioríticos, en el sector centro – oriental de la cuenca. Es en este sector donde se reconoce la mayor parte de la mineralización metálica del área en estudio.

2.2.4 Unidad Chalinga (Superunidad Illapel).

Unidad definida a partir de la aparición del Batolito monzodiorítico cuarcífero, que aflora en la sección oeste de la cuenca, que se presenta

intruyendo a la Fm. Cerro Morado, mostrando un color gris blanco, con una pátina superficial rojiza, con una textura de grano medio, en general muy meteorizado. La roca está constituida por cristales de plagioclasa, anfíbola, feldespatos potásico y cuarzo, exhibe además una incipiente alteración a clorita, epidota, arcillas y hematita. La presencia de epidota acusa un notable metamorfismo de contacto entre el intrusivo y la Fm. Cerro Morado. Dicho intrusivo se asocia al cretácico inferior – cretácico superior, fluctuando las edades radiométricas entre 134 y 86 Ma.

2.2.5 Unidad San Lorenzo.

Representada en forma de stocks, diques y filones, cuerpos con superficies inferiores a 7 Km². con una composición diorítica, tonalítica, monzodiorítica cuarcífera, granodirítica y dacítica, que intruyen a las formaciones Cerro Morado, Las Chilcas y Lo Valle. Estas rocas sólo generan una delgada aureola de metamorfismo de contacto, presentan un color blanquecino, una textura porfídica y una incipiente alteración a clorita, epidota, arcillas, sericita y calcita. En la periferia de estos intrusivos, se encajan abundantes vetas polimetálicas (Au, Ag, Cu, Pb, Zn) y cupríferas, las que se consideran genéticamente con su emplazamiento. La edad de estos cuerpos cristalinos corresponde al Cretácico Superior, en esta unidad es posible identificar las entidades que se explican a continuación.

Uno de los cuerpos intrusivos que aflora en la Fm. Las Chilcas, es el Pórfido Pedernal, que es una entidad diorítica, con rocas de color gris – verdoso, con una pátina superficial amarillenta, su textura porfídica con fenocristales de plagioclasa, piroxeno y anfíbola. Los minerales de alteración

son arcillas, cuarzo, clorita y calcita, en algunos sectores la roca se encuentra brechizada, con carbonato como cemento. Las minas Resguardo y Cecilia, se emplazan a partir de dos vetas cupríferas.

Otro cuerpo correspondiente a esta unidad, es el Pórfido Chivato, este aflora en el Co. Chivato y también intruye a la Fm. Las Chilcas, está constituido por rocas blanquecinas y duras, su textura es porfídica con escasos fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos. Su alteración es a calcita, sericita, caolinita y limolita, su clasificación corresponde a un pórfido dacítico.

Un tercer cuerpo intrusivo, correspondiente a un Dique Anular, de características porfidodacíticas a monzodioríticas cuarcíferas, que se inserta en la cuenca desde noroeste, constituye un semicírculo de 22 Km. de longitud, asociado al límite externo de la Caldera Morro Hediondo, este dique es vertical, con una potencia de 10 a 20 m., que algunos sectores como Mina Dulcinea y Qda. Cantarito supera los 100 m. Está constituido por rocas de color gris claro verdoso o rosado, con una pátina de meteorización blanquecina que muestra un diaclasamiento columnar, constituyendo cornisas que sobresalen hasta 10 m. en el terreno debido a su dureza, posee una textura porfídica con fenocristales de plagioclasa mayoritariamente, acompañados por piroxeno, biotita, feldespato potásico y cuarzo. Los minerales de alteración son clorita, caolinita, calcita. La intrusión de este cuerpo se asocia a chimenea de brecha cuprífera de la Mina Dulcinea. El Filón Los Portillos, es una entidad diorítica, que intruye a la Fm. Lo Valle, incluso se manifiesta como margen de ésta ante la Fm. Las Chilcas inmediatamente adyacente, este cuerpo aflora en el Mo. Los Portillos, y se dispone perpendicular al flujo del Estero La Tejada, tributario del Río Pederal. Las rocas que lo constituyen son duras, de color blanquecino,

presentan diaclasamiento columnar y son de textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos, alterados hacia el óxido de Fe y clorita.

2.2.6 Unidad Fredes

De manera similar a la Unidad San Lorenzo, esta unidad está compuesta por diversos stocks de clasificación monzodiorítica a diorítica, correspondientes al Terciario Inferior, estos cuerpos afloran en los cerros Maitén y La Pila, intruyendo principalmente la Fm. Lo Valle. Sus rocas constitutivas son de color gris claro a blanco, con una textura de grano medio a fino, formadas por cristales de plagioclasa y ferromagnesiano (anfíbola y piroxeno).

Dentro del contexto geológico presente en el área de estudio, se manifiestan diversas zonas de Alteración Hidrotermal, que afectan a las diversas formaciones volcánicas. Estas zonas de alteración se localizan en los márgenes de los cuerpos intrusivos, las se explican por la presencia de estos, además de la formación de la caldera Morro Hediondo, el fallamiento y permeabilidad – porosidad primaria de las rocas. En las zonas de alteración las rocas presentan un color blanquecino a rojizo y en ellas las volcanitas se encuentran intensa a moderadamente alteradas, siendo difícil la detección de los protolitos. La alteración de estos sectores es de carácter argílico – silíceo, siendo poco probable la mineralización de sulfuros.

En último término el esquema estructural del área, está supeditado a la presencia de la posible caldera volcánica, que la descripción del SERNAGEOMIN en su estudio del Cuadrángulo Petorca, propone denominar Morro Hediondo. Estructura de caldera definida principalmente por el dique anular intrusivo, el que se emplaza en una falla de desplazamiento vertical.

Otras condiciones que apoyan la tesis del centro volcánico, serían que las secuencias de volcanitas externas al dique están bien estratificadas y las interiores formando una disturbada “megabrecha”, los flujos piroclásticos dacíticos son potentes dentro de la caldera y débiles fuera de ella, estructuras radiales y concéntricas a la estructura principal, basculamiento de las coladas en función del colapso de la caldera y la presencia de yacimientos polimetálicos epitermales, tanto dentro como fuera de la caldera.

2.3 Características Hidrográficas.

La explicación del ámbito hidrográfico del área de estudio, cobra especial relevancia según el criterio que hemos establecido, ya que las características de su comportamiento incide directamente sobre los resultados esperados, es decir este aspecto es la base para establecer los futuros parámetros a los que debiera ceñirse la actividad fundamentalmente frutícola, para generar un impacto económico planificado a mediano y largo plazo. Esta etapa incluye las características hidrológicas de la cuenca, analizando los parámetros higromorfométricos, pluviométricos, fluviométricos, y los estudios recopilados de la cuenca de Petorca, en el ámbito hidrogeológico. Todos estos análisis y razonamientos, se basan fundamentalmente en el **ciclo del agua**.

Imagen: Ciclo Hidrológico.



2.3.1 Recursos Superficiales

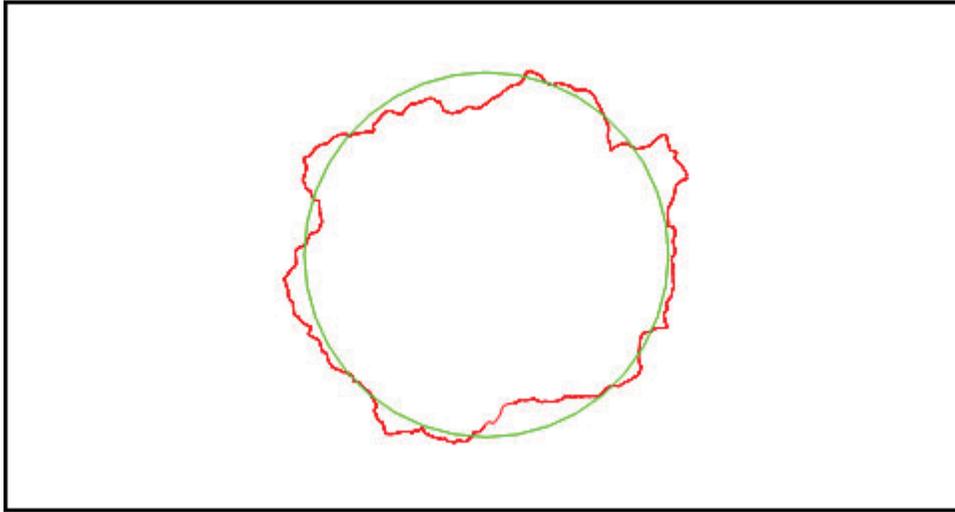
La estructura de escurrimiento superficial en la Cuenca del Río Pedernal, se presenta dispuesta de Norte a Sur, con un bandeamiento de sus tributarios hacia el Este, sección que alberga a dos de sus tributarios más relevantes, como lo son el Estero La Tejada en su parte media superior, y el Estero Chalaco en el sector medio inferior. La disposición de su eje de escurrimiento, acusa la presencia de un fallamiento longitudinal, al igual que las formaciones geológicas que aportan el sustrato basal. El sector inferior de la cuenca, es decir desde el Estero Chalaco hacia la confluencia con el Estero El Sobrante, el valle del Pedernal se presenta con su sección más baja y de menor pendiente, producto de un hundimiento tectónico terciario, donde se ha ido acumulando la mayor parte de los sedimentos cuaternarios del área de estudio, situación que se repite en menor magnitud en el sector de tributación de Estero La Tejada , en la parte superior.

La cuenca del Pedernal tiene una superficie de 347,57 Km²., el perímetro de ésta asciende a 83,19 Km. y la longitud de su eje principal es de 13,94 Km. Estos antecedentes nos permiten indagar sobre ciertos indicadores hidromorfométricos Uno de los más aceptados es el Índice de Compasidad de Gravelius, indicador que a partir de la forma de la cuenca y su área, permite señalar la dinámica del escurrimiento superficial en términos generales (tasa máxima de caudal v/s tiempo). Este índice se expresa como el cociente entre el perímetro de la cuenca y la raíz cuadrada de su área, multiplicado por la constante (k=0,28).

Para el caso de la cuenca del Pedernal, el índice de compasidad es $k = 1,25$, indicador que refleja una dinámica de escorrentía, donde el valor máximo de caudal, en un tiempo determinado será menor que en comparación con una cuenca de la misma área, pero con una estructura más alargada, situación que implica necesariamente una mayor infiltración *a priori*, debido a que el eje principal demora mucho más tiempo en recibir los aportes de los tributarios, además éstos en su recorrido han propiciado un cierto nivel de infiltración.

El diagrama en la parte inferior de la página, establece la relación que hace el índice de compasidad, de un modo gráfico, mostrando la forma y perímetro de la cuenca, comparada con un círculo de igual área.

Imagen: Diagrama Índice de Compasidad.



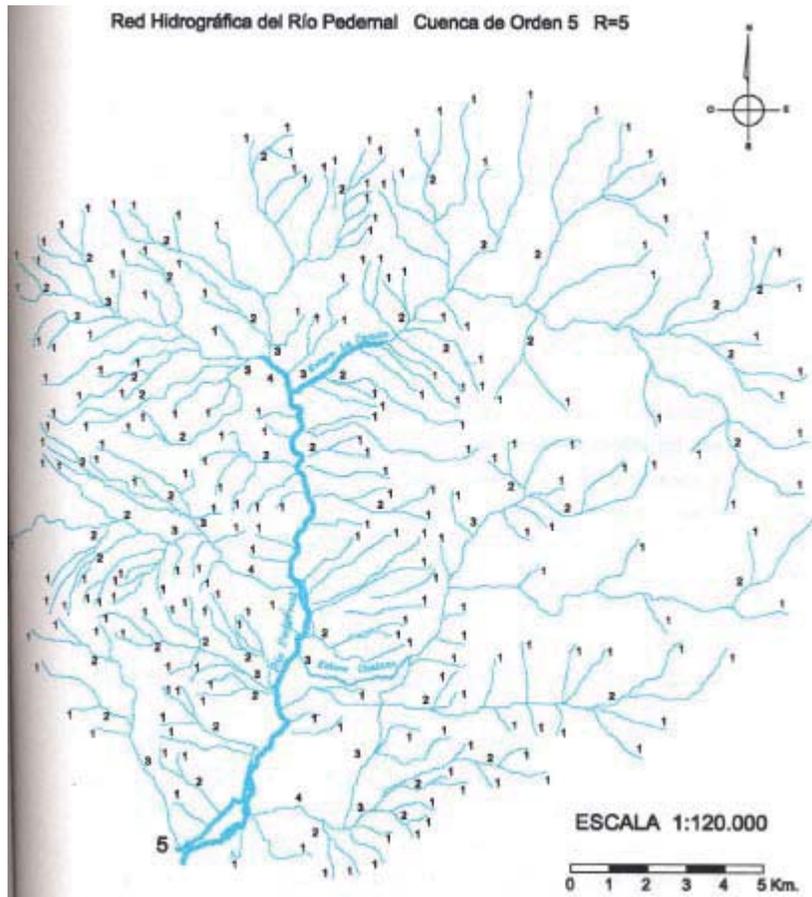
Complementario al índice de compacidad, hemos calculado el parámetro de la Frecuencia de Drenaje, que se expresa como el cociente entre el total del número de drenes de una unidad hidroespacial y su superficie. Este indicador se basa en el ordenamiento de la red de Drenaje establecido por Horton, que se expresa en el reconocimiento de todos los cauces naturales de la cuenca, ya sean estos permanentes o intermitentes, estos canales se jerarquizan según la estructura de su tributación. Donde los cursos más pequeños que se reconocen, se designan como de Orden 1 (N_1), generalmente se activan sólo en la temporada lluviosa. Al unirse dos cursos de Orden 1, tiene como resultante un curso de Orden 2 (N_2) aguas abajo, ésta jerarquización establece que cuando se juntan dos cursos de Orden i , resulta un curso de Orden $i + 1$, por lo tanto el Orden de Drenaje de una cuenca es el mismo Orden que tiene su río de salida (R).

La determinación de los distintos órdenes de drenes que componen la red hidrográfica, que llegan a los 285, han arrojado una Frecuencia de Drenaje

de 0.82 drenes por Km²., dato que señala una lenta organización y concentración del escurrimiento, haciendo más lenta la evacuación de las aguas desde el sector de captación de la Cuenca. El eje principal tiene Orden 5 (R=5), y sus tributarios más importantes, Esteros La Tejada y Chalaco tienen Orden 3 (N₃). Al sectorizar esta unidad hidroespacial en el sector Oeste y Este respecto de su eje principal, se advierten claras diferencias hidrográficas, el sector Este contiene tributarios de mayor longitud y existe una menor densidad de drenaje, lo que permite un mayor aporte en términos hidrológicos, ya que el régimen de escurrimiento es más continuo, además el nacimiento de estos drenes se originan en cabeceras por sobre los 3000 m.s.n.m. El sector Oeste presenta tributarios más cortos, en una Densidad de Drenaje mayor, características que inciden en un escurrimiento más rápido en las épocas lluviosas, inicialmente laminar, cabe señalar que las cabeceras de estos drenes se ubican aproximadamente en los 2000 m.s.n.m.

Como elementos complementarios que permiten establecer situaciones complejas, se podría incorporar en el presente estudio, la exposición y orientación de los relieves, siendo los factores de solana y umbría, como expresión dicotómica, irrelevante a nivel de detalle, debido a la regularidad del paisaje semiárido. Un factor que si consideramos más relevante, es la disposición del relieve del valle, ya que su orientación longitudinal, casi perpendicular a la transversalidad del Río Petorca, puede dificultar el ingreso de los frentes de precipitación, pero al arribar al sector frentes en altura por sobre los 2000 m.s.n.m., la masa posible de precipitar pasaría por sobre el valle, y en su recorrido Oeste – Este, se encontraría con una barrera orográfica superior a los 3000 m.s.n.m., que provocaría su condensación y posterior precipitación en el sector Este de la unidad hidroespacial, área que se manifiesta con los aportes hidrológicos de mayor significancia.

En el siguiente esquema, se indica la determinación de los órdenes de drenes.



2.3.1.1 Pluviometría

La principal entrada del sistema hidrológico, son sin duda las precipitaciones, las que activan el funcionamiento de la red hídrica ya sea directamente por medio de la lluvia a través del período anual, o indirectamente por medio de la acumulación de nieve y su posterior derretimiento en el período

estival. Si consideramos que la cuenca se sitúa en un clima semiárido, es la escasez de precipitaciones la que juega un rol preponderante en esta clasificación.

Para efectuar el correspondiente análisis del comportamiento pluviométrico, en el área de investigación, se han considerado las dos estaciones ubicadas en el interior de la cuenca, Hacienda Chalaco y Hacienda Pedernal. Los datos recolectados se disponen en una serie de treinta años, en la medida de la existencia de la información. Para estos análisis se exponen en el informe las tablas de ambas estaciones y los gráficos que reflejan su dinámica.

En la serie de años estudiados, se advierten primariamente las dos series extremas, que corresponden al período anual de 1968 y de 1987, en la serie de 1968 se manifiesta, al igual que en el resto de nuestro territorio, las más bajas precipitaciones promediando entre las dos estaciones 18 mm. anuales, muy por debajo del promedio de 230 mm. anuales, lluvias que se comportan de un modo similar en cuanto a su aparición, a los años normales o promedio, es decir se manifiestan de abril a septiembre mayoritariamente, lo que en este caso cambia es la magnitud de estas, dentro de la tabla de precipitaciones de la Estación Hacienda Pedernal, no hemos considerado el año 1967, debido a la falta de algunos registros, ya que según los datos este año viene a ser el período de menores precipitaciones de la serie. En un sentido opuesto tenemos el año 1987, período que se muestra como el de las más altas precipitaciones con promedio anual entre las dos estaciones de 766 mm., donde las mayores precipitaciones se concentran entre Mayo y Septiembre, así el mes de Julio concentra más del 50% de las precipitaciones anuales.

2.3.1.2 Fluviometría

En estrecha relación con las precipitaciones, tenemos la magnitud de la escorrentía superficial, que para efectos de su análisis hemos considerado la Estación Fluviométrica de Pedernal en Tejada, esto quiere decir que las conclusiones que podamos obtener son parciales a nivel de toda la cuenca, ya que la información corresponde a la sección superior del valle.

Del mismo modo que el comportamiento pluviométrico, los caudales denotan un fuerte acondicionamiento respecto de la precipitaciones, ya que hemos encontrado en las series de años, los mismas series extremas, o sea los años 1968 y 1987. La diferencia se hace presente a través de la reacción de los caudales a en la serie anual, pudiéndose observar que los “picks” de los gráficos de caudal aparecen uno a dos meses más tarde que los “picks” pluviométricos, esto se explica por la hidromorfometría de la cuenca, entiéndase esto como su densidad de drenaje e índice de compacidad, donde la dinámica de los flujos superficiales se hace más lenta para llegar a su cauce principal, es decir el escaso recurso hídrico permanece más tiempo en el sistema hidrográfico. Este comportamiento hidrológico, tiene una incidencia favorable ante la estacionalidad marcada de las precipitaciones, ya que el escurrimiento superficial permanece mayor tiempo en la red de drenaje, y su vez tiene más tiempo para infiltrarse en los sectores de sedimentación, recargando la napa freática incluso en la estación seca.

Precipitaciones Mensuales (mm.) Período 1965 - 1996

Estación: Hacienda Chalaco

Lat. S: 32°11'

Cuenca: Río Petorca

Long. W: 70°47'

Altitud: 880 msnm

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1965	0,0	0,0	0,0	7,5	31,5	8,5	162,0	161,0	6,0	12,5	0,0	3,0	392,0
1966	0,0	0,0	0,0	15,5	3,5	113,5	90,0	16,0	0,0	0,5	6,5	2,0	247,5
1967	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	18,5	51,5	5,5	29,5	10,0	0,0	0,0	135,0
1968	0,0	0,0	1,8	4,5	0,0	3,5	1,0	11,0	2,0	0,0	0,0	0,0	23,8
1969	0,0	0,0	0,0	6,0	0,5	25,8	6,0	26,0	0,0	0,0	2,5	0,0	66,8
1970	0,0	0,0	0,0	0,0	59,0	0,0	91,5	12,5	23,0	5,0	0,0	0,0	191,0
1971	15,5	0,0	3,0	0,0	0,0	40,0	5,0	19,0	11,0	0,0	0,0	0,0	93,5
1972	0,0	0,0	0,0	3,0	6,0	115,0	46,0	95,0	29,5	5,0	0,0	0,0	299,5
1973	0,0	0,0	0,0	0,0	47,0	29,0	43,5	0,0	0,0	27,5	0,0	0,0	147,0
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	100,0	2,0	6,0	28,0	10,5	4,5	0,5	172,5
1975	0,0	0,0	0,0	5,0	34,0	1,5	66,0	21,5	0,0	7,0	1,0	0,0	136,0
1976	3,5	0,0	1,0	0,0	21,0	9,0	1,0	33,0	11,0	31,0	19,0	0,0	129,5
1977	0,0	0,0	0,0	0,1	9,6	80,0	117,0	52,0	2,0	20,0	9,0	0,0	289,7
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	115,0	6,0	21,0	0,0	43,0	0,0	192,0
1979	0,0	0,0	0,0	8,0	3,0	0,0	57,0	8,0	38,5	0,0	5,5	0,0	120,0
1980	0,0	0,0	0,0	77,0	0,0	44,0	62,0	11,0	91,0	0,0	3,0	0,0	288,0
1981	-	0,0	0,0	0,0	83,0	26,0	17,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	148,0
1982	0,0	0,0	11,0	0,0	60,5	79,0	38,5	69,0	16,0	4,5	4,0	0,0	282,5
1983	9,0	0,0	0,0	16,5	26,0	57,5	142,0	45,5	39,5	0,0	0,0	0,0	336,0
1984	0,0	0,0	5,3	-	31,8	11,4	323,9	16,8	22,2	10,4	2,0	0,0	423,8
1985	0,8	0,0	28,5	3,0	12,1	0,0	45,4	5,8	2,0	10,6	0,0	0,0	108,2
1986	0,0	0,0	0,0	0,0	80,0	50,0	2,0	21,5	6,0	0,0	2,0	0,0	161,5
1987	0,0	0,0	9,0	14,0	46,0	37,0	320,2	173,0	24,0	20,5	0,0	0,0	643,7
1988	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	9,0	36,8	-	14,3	0,0	8,0	2,5	76,8
1989	0,0	0,0	0,0	6,0	35,0	1,0	83,0	81,0	10,0	0,0	0,0	0,0	216,0
1990	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	29,0	29,5	11,0	1,5	0,0	0,0	74,0
1991	0,0	0,0	0,0	3,2	25,1	146,9	55,4	7,0	50,0	5,4	0,0	0,0	293,0
1992	0,0	0,0	21,0	57,6	68,5	159,5	5,7	47,3	12,0	0,0	6,1	0,0	377,7
1993	0,0	0,0	0,0	47,5	73,5	7,3	36,7	32,0	11,0	0,0	0,0	0,0	208,0
1994	0,0	0,0	0,0	2,5	11,0	14,0	39,2	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	74,2
1995	19,0	0,0	0,0	6,0	3,0	31,0	23,0	27,0	20,0	0,0	0,0	0,0	129,0
1996	0,0	0,0	0,0	18,4	3,0	16,0	116,0	13,0	0,0	5,9	0,0	0,0	172,3
MEDIA	1,5	0,0	2,6	9,7	26,5	40,1	72,0	34,9	17,1	6,1	3,8	0,3	214,5
MAX.	19,0	0,0	28,5	77,0	73,5	159,5	323,9	173,0	91,0	31,0	43,0	3,0	1022,4
MIN.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0

Fuente: MOP – DGA. Departamento de Hidrología. (01/08/95)

Gráfico Precipitaciones N° 1.

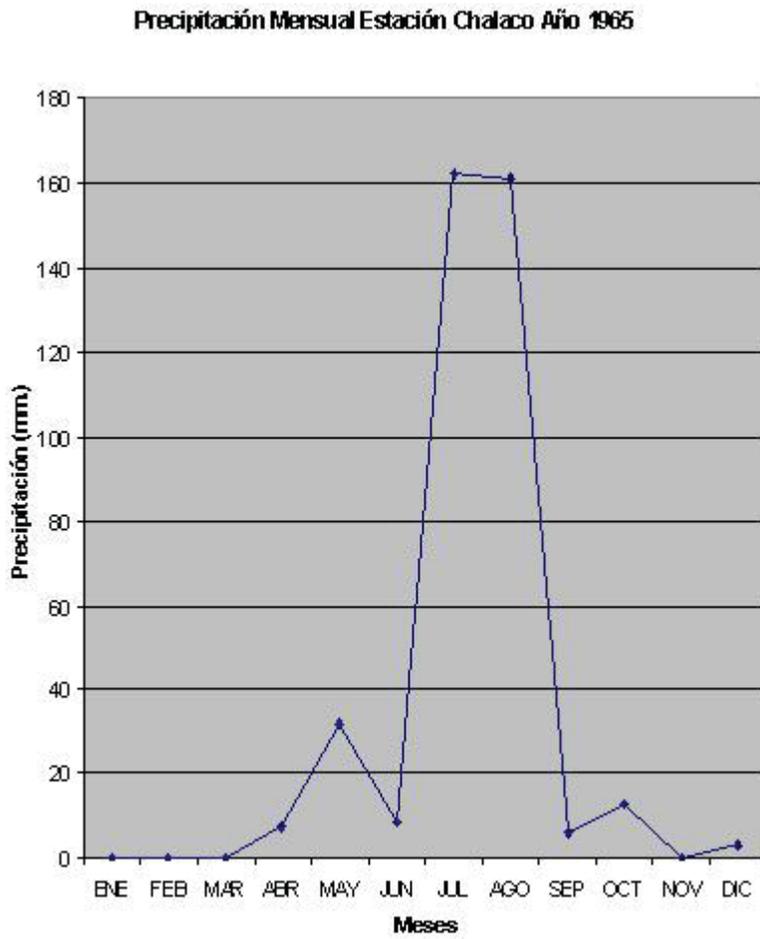


Gráfico Precipitaciones N° 2.

Precipitación Mensual Estación Chalaco Año 1968

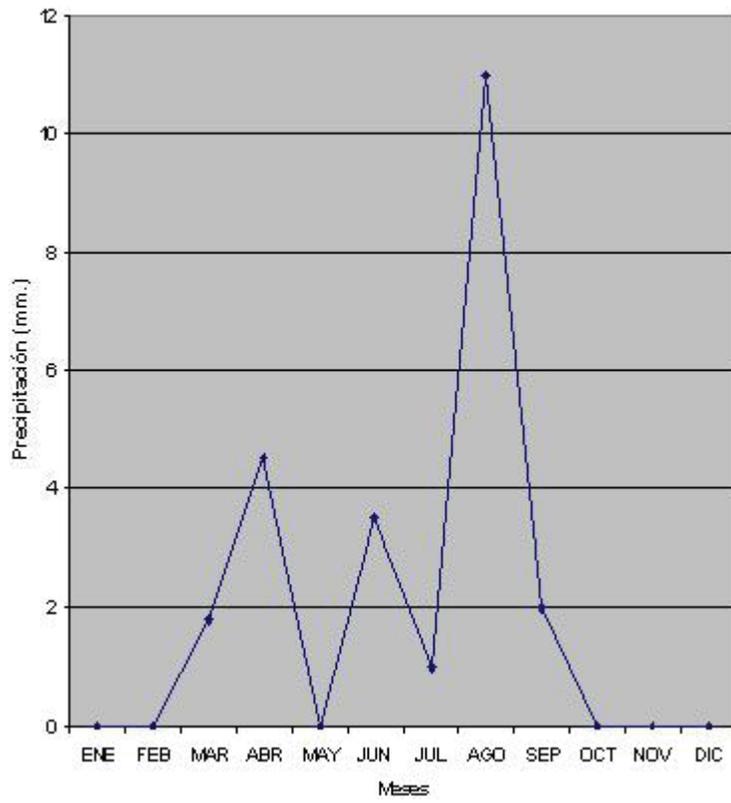


Gráfico Precipitaciones N° 3.

Precipitación Mensual Estación Chalaco Año 1987

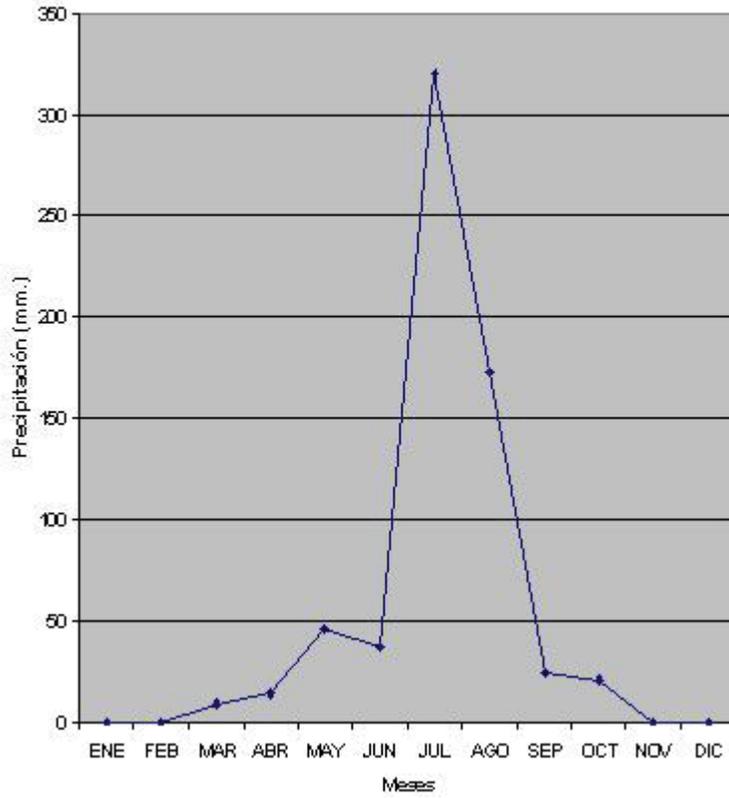


Gráfico Precipitaciones N° 4.

Precipitación Mensual Estación Chalaco Año 1993

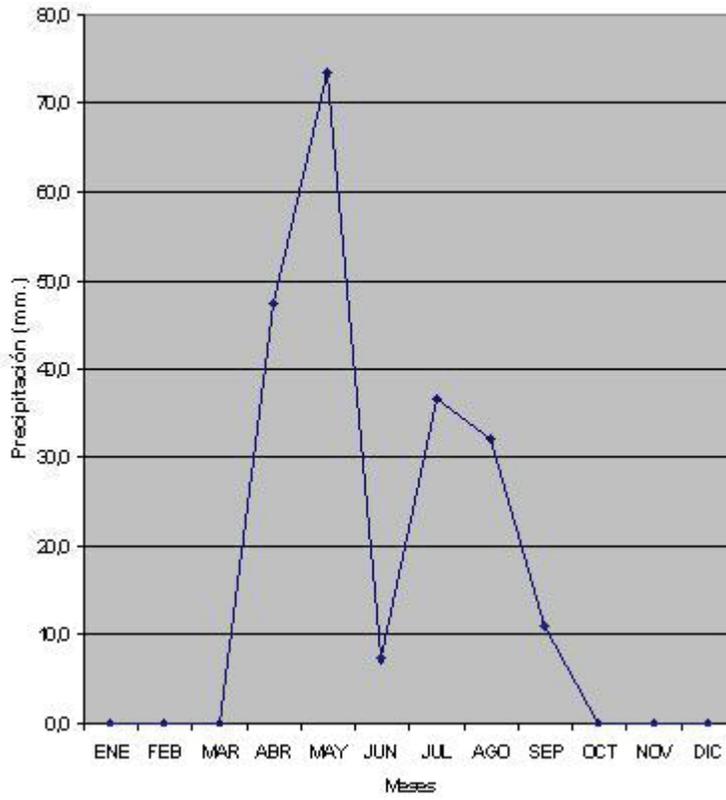


Gráfico Precipitaciones N° 5.

Precipitaciones Mensuales Estación Chalaco Año 1996

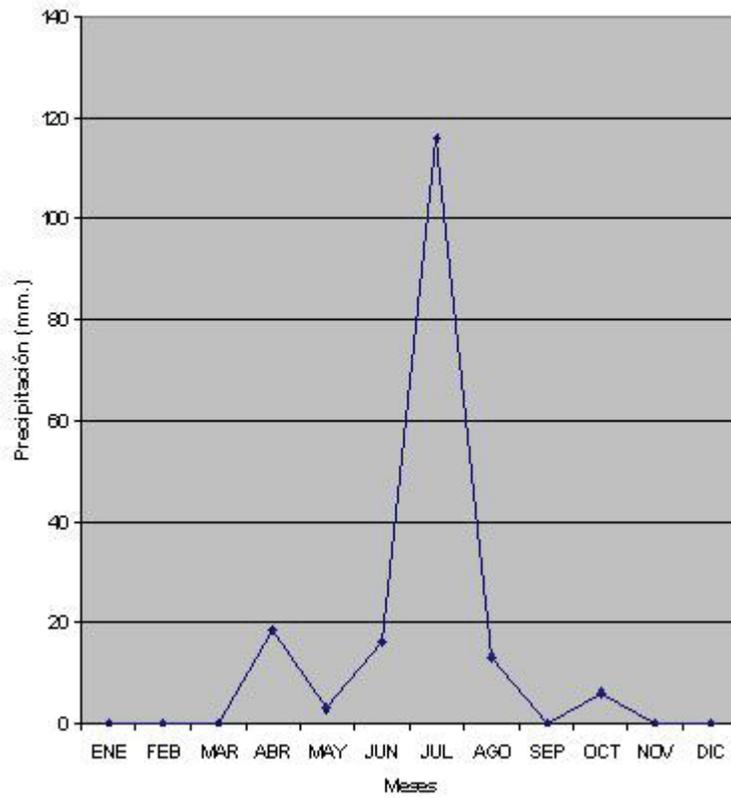
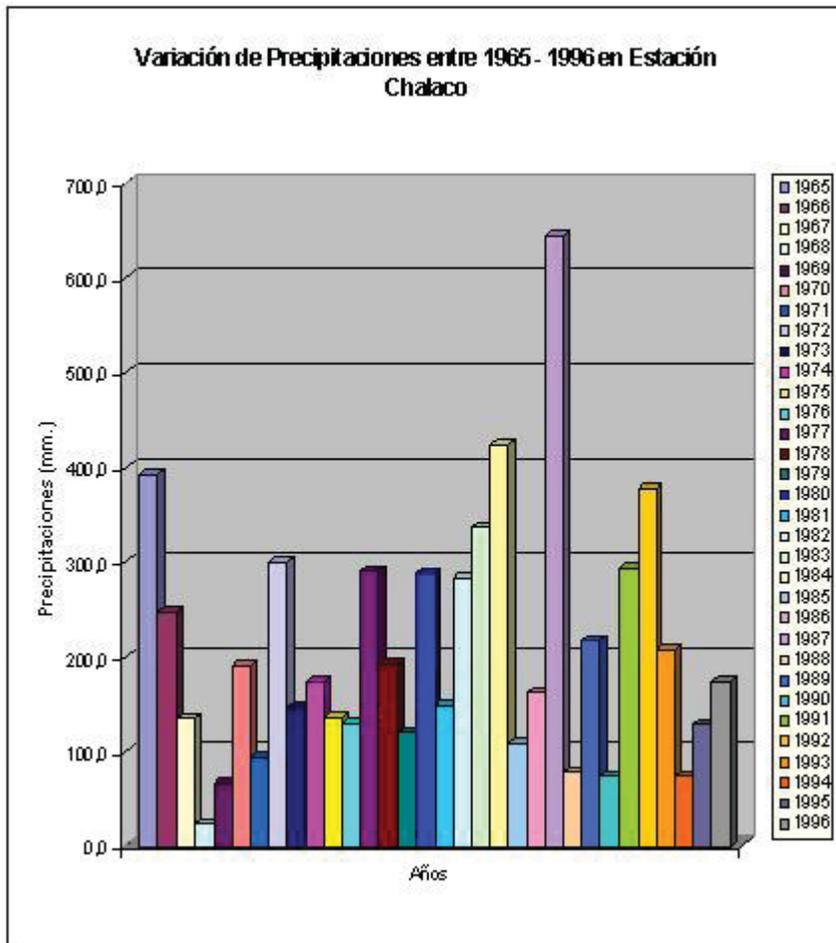


Gráfico Precipitaciones N° 6.



Precipitaciones Mensuales (mm.) Período 1965 - 1993

Estación: Hacienda Pedernal

Lat. S: 32°05'

Cuenca: Río Petorca

Long. W: 70°48'

Altitud: 1100 msnm

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1965	0,0	0,0	0,0	12,5	35,0	6,5	196,5	190,0	5,0	0,0	0,0	0,0	445,5
1966	0,0	0,0	0,0	16,0	4,0	123,3	118,2	24,0	0,0	0,0	6,0	10,0	301,5
1967	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
1968	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0
1969	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	52,5	3,1	30,1	0,0	0,0	0,0	0,0	86,3
1971	-	0,0	6,0	0,0	1,0	28,5	7,0	20,0	24,0	0,0	0,0	0,0	86,5
1972	0,0	0,0	0,0	3,0	8,0	170,9	0,0	138,5	47,5	7,1	4,5	0,0	379,5
1973	0,0	0,0	0,0	0,0	40,0	41,5	9,0	0,0	0,0	11,5	0,0	0,0	102,0
1975	0,0	0,0	2,0	0,5	36,0	0,0		23,0	0,0	0,0	0,0	0,0	61,5
1976	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	-	0,0	0,0	8,0
1977	0,0	0,0	0,0	1,0	11,0	87,0	175,0	95,0	3,0	17,0	3,0	0,0	392,0
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	141,9	6,0	31,5	0,0	58,0	0,0	255,4
1979	0,0	0,0	0,0	7,5	4,0	0,0	66,0	5,0	28,5	0,0	8,0	1,0	120,0
1980	0,0	0,0	0,0	135,9	0,0	55,0	102,0	10,0	80,0	0,0	0,0	0,0	382,9
1981	0,0	0,0	0,0	0,0	82,9	26,0	15,5	29,0	6,0	0,0	0,0	0,0	159,4
1982	0,0	0,0	27,0	0,0	78,9	106,0	94,0	62,0	10,0	5,5	0,0	0,0	383,4
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	49,0	79,5	177,5	52,0	25,5	0,0	0,0	0,0	383,5
1984	0,0	0,0	5,0	0,0	25,0	14,0	459,8	13,8	11,8	20,0	1,2	0,0	550,6
1985	1,4	0,0	19,3	0,0	10,8	1,5	57,6	7,1	0,0	12,4	0,0	0,0	110,1
1986	0,0	0,0	0,0	0,5	95,2	71,4	0,0	40,6	1,2	5,0	-	0,0	213,9
1987	0,0	0,0	-	14,3	52,9	38,5	461,0	290,0	15,0	16,5	0,0	0,0	888,8
1988	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	10,0	37,8	18,4	8,2	0,0	8,5	2,4	91,7
1989	0,0	0,0	0,0	5,4	32,1	2,0	93,6	75,9	8,4	0,0	0,0	0,0	217,4
1990	0,0	0,0	0,3	0,0	1,0	0,2	33,5	23,4	22,3	4,5	0,0	0,0	85,2
1991	0,0	0,0	0,0	4,1	51,0	156,8	64,0	0,0	59,0	0,0	0,0	0,0	334,9
1992	0,0	0,0	30,0	59,4	74,8	161,5	2,4	71,4	12,0	0,0	7,0	0,0	418,5
1993	0,0	0,0	0,0	*	66,2	13,5	31,5	29,0	7,6	0,0	0,0	0,0	147,8
MEDIA	0,4	0,0	3,3	9,6	28,4	47,0	87,2	46,4	15,1	3,7	3,6	0,5	245,1
MAX.	10,3	0,0	30,0	135,9	95,2	170,9	461,1	290,5	130,1	20,0	58,0	10,0	888,8
MIN.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: MOP – DGA. Departamento de Hidrología. (01/08/95)

Gráfico Precipitaciones N° 7.

Precipitación Mensual Estación Pedernal Año 1965

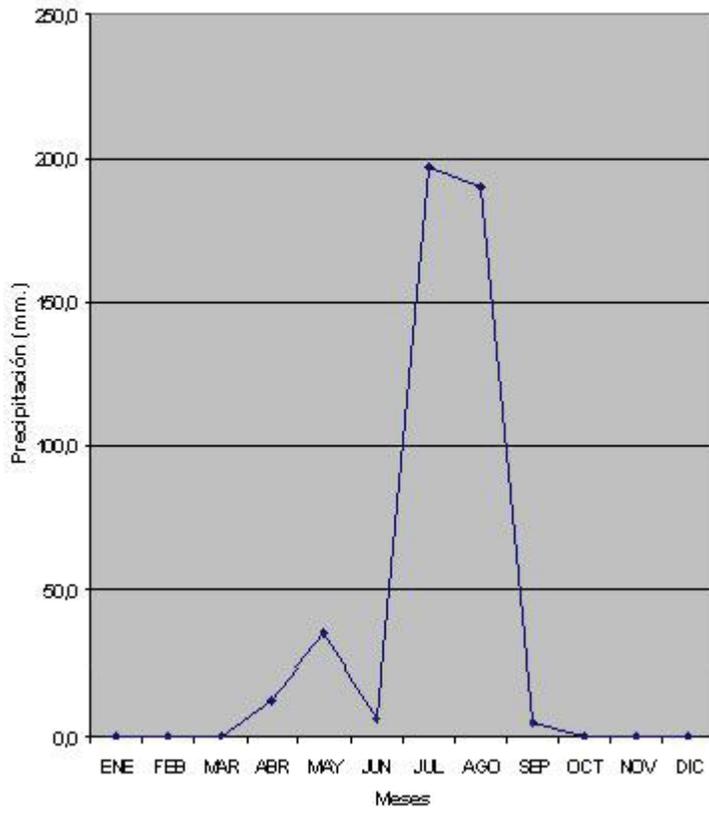


Gráfico Precipitaciones N° 8.

Precipitación Mensual Estación Pedernal Año 1968

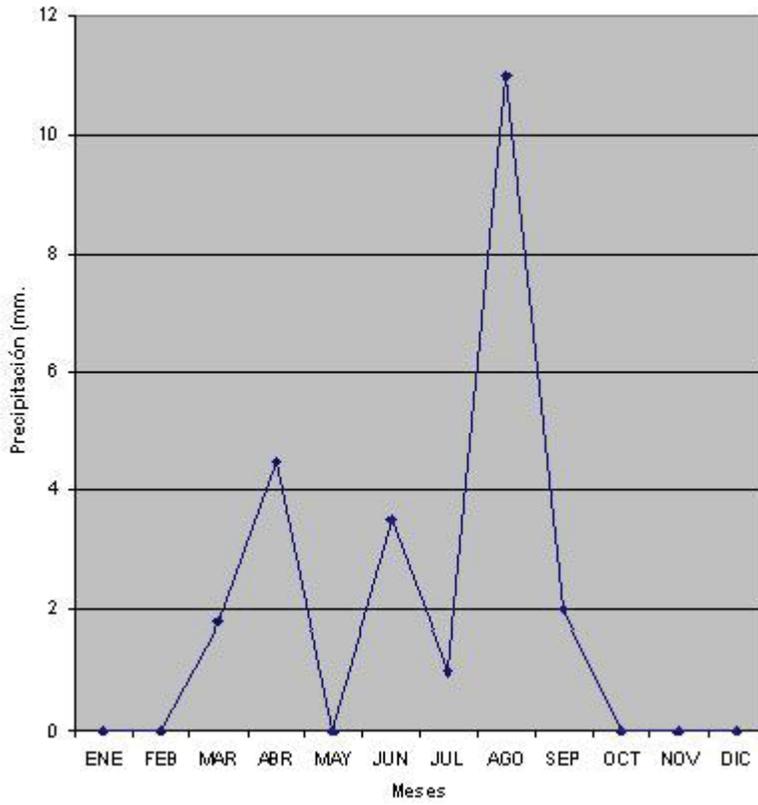


Gráfico Precipitaciones N° 9.

Precipitación Mensual Estación Pedernal Año 1987

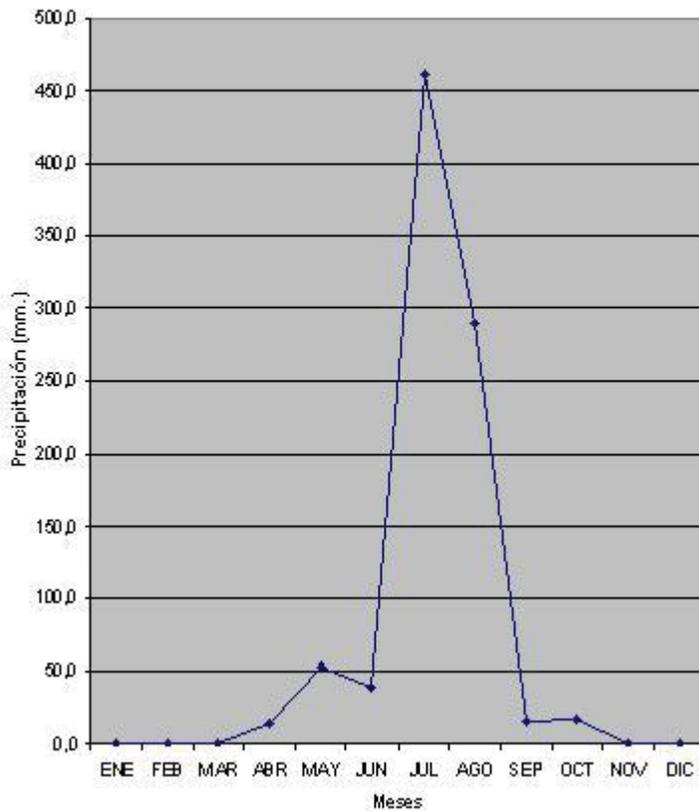


Gráfico Precipitaciones N° 10.

Precipitación Mensual Estación Pedernal Año 1993

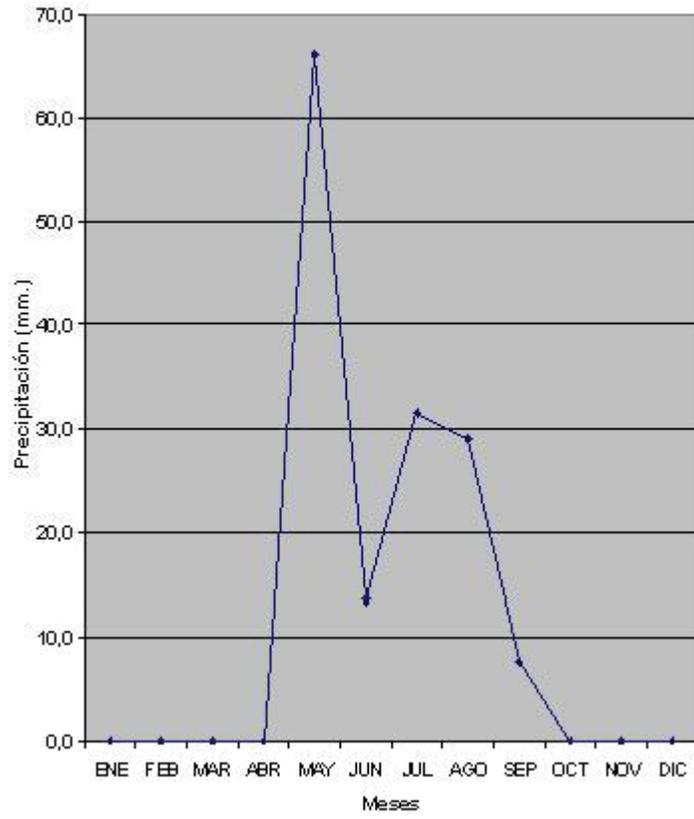
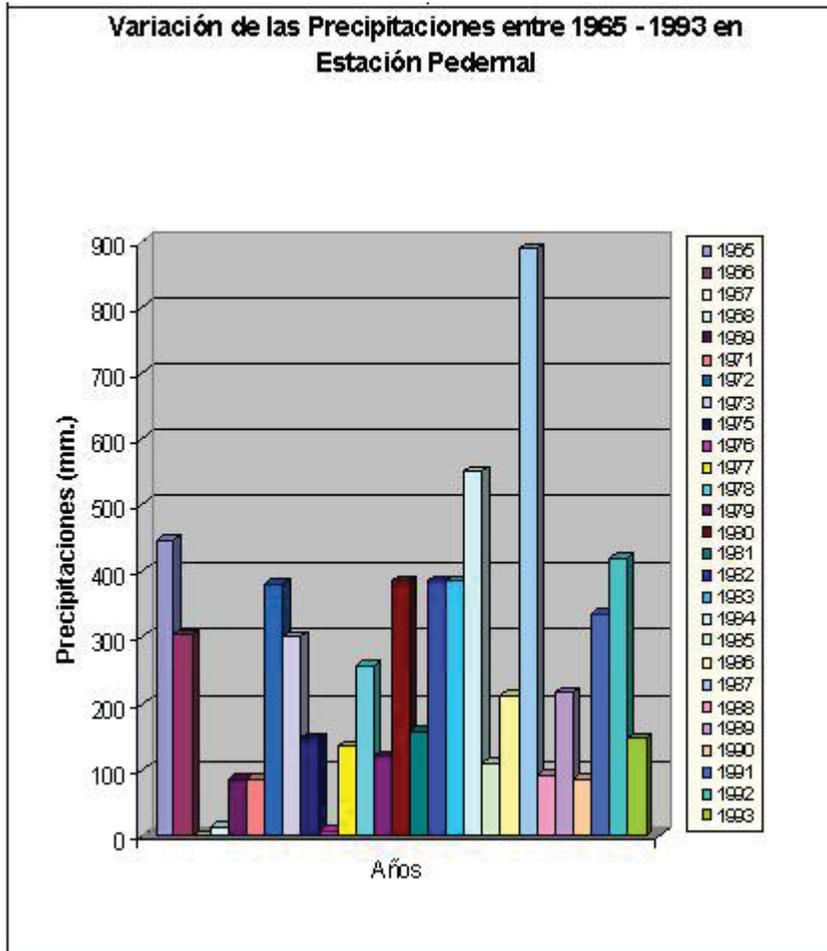


Gráfico Precipitaciones N° 11.



Caudales Medios Mensuales (m³/seg.) Período 1951 – 1991

Río Pedernal en Tejada (Régimen Natural)

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Med. Anual	TOTAL
1951	*0,06	*0,04	*0,05	*0,05	*0,07	*0,17	*0,47	*0,37	*0,32	*0,34	*0,34	*0,06	0,20	2,34
1952	*0,04	*0,06	*0,02	*0,03	*0,05	*0,18	*0,27	*0,29	*0,55	*0,44	*0,55	*0,13	0,22	2,61
1953	*0,04	*0,02	*0,02	*0,03	*0,06	*0,22	*0,20	*0,69	*1,73	*1,95	*3,98	*0,93	0,82	9,87
1954	*0,18	*0,15	*0,07	*0,12	*0,11	*0,43	*0,43	*0,44	*0,31	*0,20	*0,56	*0,08	0,26	3,08
1955	*0,04	*0,02	*0,03	*0,05	*0,10	*0,15	*0,29	*0,21	*0,84	*0,64	*1,00	*0,10	0,29	3,47
1956	*0,03	*0,01	*0,02	*0,04	*0,07	*0,13	*0,21	*0,33	*0,27	*0,46	*0,34	*0,01	0,16	1,92
1957	*0,02	*0,01	*0,01	*0,04	*0,10	*0,34	*0,22	*0,47	*0,36	*0,85	*0,62	*0,15	0,27	3,19
1958	*0,04	*0,01	*0,03	*0,05	*0,06	*0,53	*0,26	*0,21	*0,38	*0,80	*0,14	*0,01	0,21	2,52
1959	*0,02	*0,01	*0,03	*0,05	*0,07	*0,12	*0,46	*0,39	*0,82	*0,63	*0,20	*0,10	0,24	2,90
1960	*0,03	*0,02	*0,02	*0,06	*0,07	*0,53	*0,17	*0,18	*0,17	*0,21	*0,82	*0,17	0,20	2,45
1961	*0,05	*0,02	*0,04	*0,04	*0,04	*0,13	*0,35	*0,54	*0,58	*1,05	*1,15	*0,21	0,35	4,20
1962	*0,04	*0,05	*0,03	*0,02	*0,03	*0,04	*0,17	*0,31	*0,23	*0,37	*0,27	*0,09	0,14	1,65
1963	*0,04	*0,03	*0,02	0,02	0,03	0,06	0,24	0,21	0,84	1,20	1,62	1,19	0,46	5,50
1964	0,27	0,12	0,10	0,08	0,08	0,12	0,11	0,13	0,26	0,17	0,08	0,06	0,13	1,58
1965	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,22	1,61	0,82	1,36	1,58	0,47	0,53	6,36
1966	0,18	0,08	0,08	0,08	0,07	0,13	0,41	0,39	0,47	0,68	0,49	0,21	0,27	3,27
1967	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,07	*0,20	*0,19	*0,16	*0,18	*0,05	*0,06	0,10	1,23
1968	*0,05	*0,01	*0,01	*0,03	*0,03	*0,00	*0,12	*0,04	*0,02	*0,00	*0,00	*0,03	0,03	0,34
1969	*0,02	*0,01	*0,01	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	*0,00	0,02	0,03	0,37
1970	0,03	0,02	*0,01	*0,01	*0,02	*0,00	0,23	0,23	0,19	0,37	0,22	0,06	0,12	1,39
1971	*0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,07	0,08	0,08	0,13	0,07	0,03	0,05	0,61
1972	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	*0,33	0,38	0,70	*1,07	1,11	1,30	0,81	0,48	5,75
1973	*0,86	*0,47	*0,44	*0,66	*0,10	*0,19	*0,34	*0,45	*0,45	0,33	0,25	0,09	0,39	4,63
1974	0,06	0,04	0,03	0,02	0,03	0,13	0,16	0,10	0,15	0,40	0,25	0,16	0,13	1,53
1975	0,07	0,03	*0,04	*0,03	*0,04	0,07	0,12	0,20	0,18	0,22	0,13	0,06	0,10	1,19
1976	0,04	0,04	*0,01	*0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,05	0,11	0,12	*0,06	0,05	0,57
1977	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,85	1,10	1,04	1,66	1,24	*0,32	0,53	6,32
1978	0,12	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,47	*0,69	*0,90	*1,31	*1,44	*0,36	0,46	5,52
1979	*0,25	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,09	0,15	0,29	0,16	0,08	0,05	0,13	1,51
1980	0,03	0,02	0,02	0,67	0,59	0,17	0,14	0,14	0,32	0,83	*0,96	*0,37	0,36	4,26
1981	*0,19	*0,14	*0,08	*0,07	*0,09	*0,18	*0,28	0,18	0,16	0,16	0,10	0,06	0,14	1,69
1982	0,03	0,01	0,02	0,02	0,10	0,66	1,44	1,38	*1,75	*1,52	1,93	0,92	0,82	9,78
1983	0,24	0,11	0,07	0,06	0,09	0,14	0,49	0,77	0,64	1,83	0,88	0,32	0,47	5,64
1984	0,15	0,11	0,12	0,10	0,08	0,08	0,84	0,83	1,46	3,00	2,60	1,15	0,88	10,52
1985	0,45	0,24	*0,08	*0,07	0,14	0,09	0,09	*0,11	*0,14	*0,11	*0,07	*0,08	0,14	1,67
1986	*0,04	0,03	0,02	0,03	*0,04	*0,20	0,25	0,21	0,24	0,38	0,18	0,08	1,14	1,70
1987	0,05	0,04	0,03	0,03	*0,05	*0,10	*1,45	*2,79	*1,82	*3,72	*5,93	*1,93	1,50	17,94
1988	*0,54	*0,28	*0,17	*0,17	*0,12	*0,22	*0,30	*0,28	0,09	0,07	0,05	0,03	0,19	2,32
1989	0,03	0,02	0,02	0,02	0,06	0,04	0,05	0,46	0,54	0,68	0,31	0,11	0,20	2,34
1990	*0,05	0,03	0,05	0,08	0,09	0,09	0,12	0,11	0,19	0,08	0,04	0,02	0,08	0,95
1991	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,34	0,64	0,36	1,04	0,82	0,53	0,30	0,35	4,14
MEDIA	0,04	0,03	0,02	0,04	0,04	0,06	0,19	0,24	0,23	0,40	0,36	0,16	0,33	3,68
MAX.	0,86	0,47	0,44	0,67	0,59	0,66	1,45	2,79	1,82	3,72	5,93	1,93	1,78	17,94
MIN.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,34

Fuente: MOP-DGA. Departamento de Hidrología.

Gráfico Caudales N° 1.

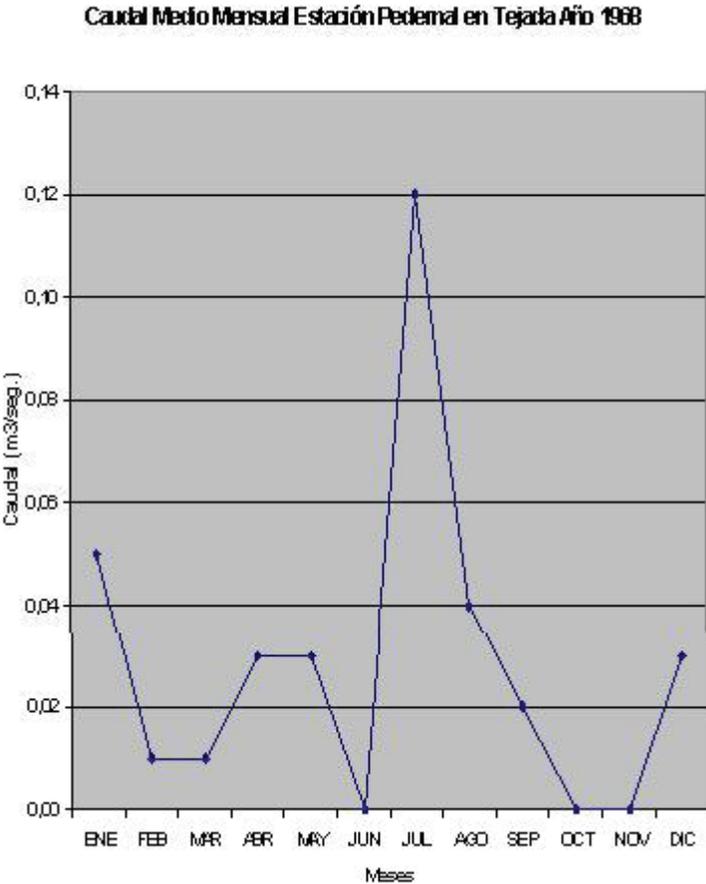


Gráfico Caudales N° 2.

Caudal Medio Mensual Estación Pedernal en Tejada Año 1987

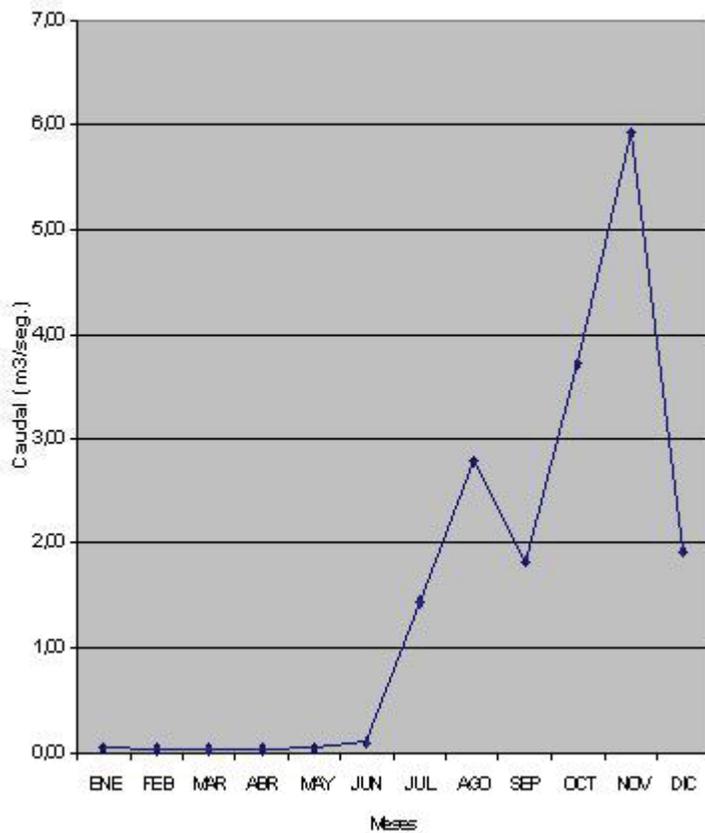
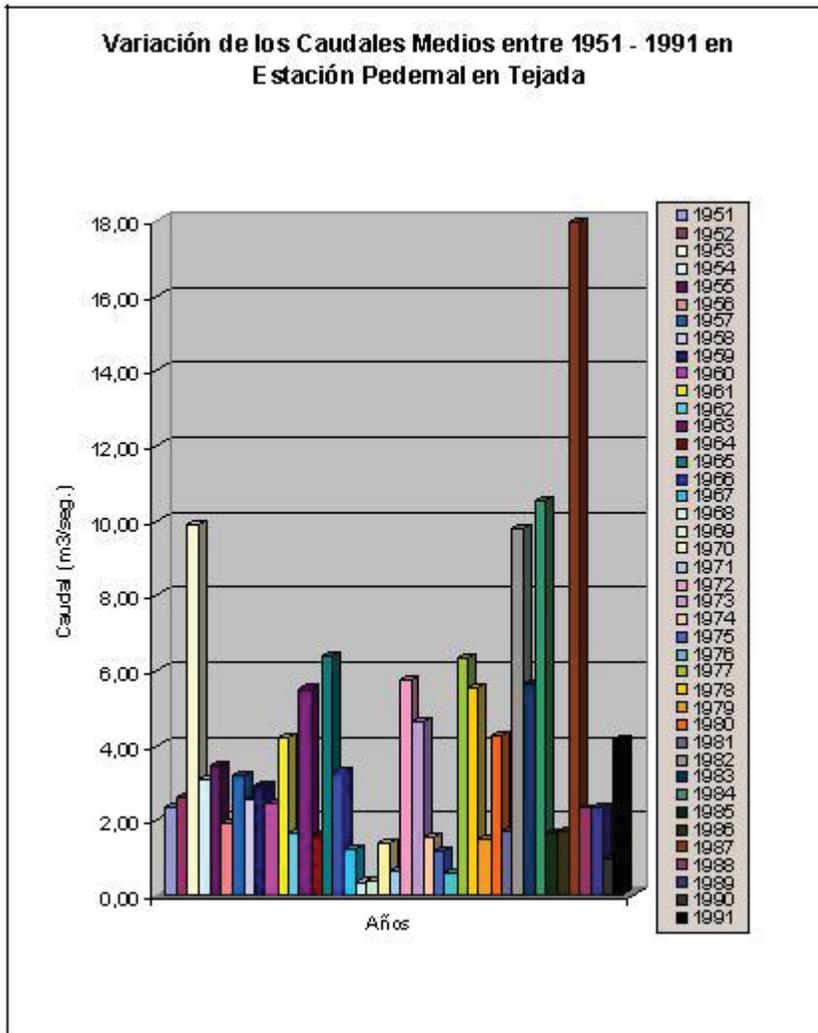


Gráfico Caudales N° 3.



2.3.2 Recursos Subterráneos

Para establecer las características hidrogeológicas, del área de estudio, haremos referencia al embalse subterráneo del Río Petorca, acuífero que presenta deficiencia en cuanto a su determinación, ya que la información que se maneja es bastante deficiente, pero el “Proyecto Aconcagua”, estudio

diagnóstico que hace referencia a este tema y área de estudio, establece que el Acuífero Petorca, debido a su extensión, se trate en el Acuífero Petorca Costa y el Acuífero Petorca Interior, siendo este último el que más nos interesa para los fines del estudio, ya que incluye los sectores de Hierro Viejo, Pedernal y Sobrante.

El acuífero propiamente tal está limitado por las cadenas montañosas correspondientes por el norte al interfluvio Choapa – Petorca, y por el sur al interfluvio Petorca – La Ligua. El Acuífero del Sector interior o Petorca Interior, se extiende desde unos 5 Km. aguas arriba de la confluencia del Río Sobrante con el Río Pedernal, y continúa aguas abajo pasando por la localidad Petorca hasta unos 2 Km. aguas arriba de la desembocadura del Estero Las Palmas en el Río Petorca.

Las características geométricas del valle del Petorca, indican que prácticamente en toda su extensión, presenta un acuífero freático de un espesor medio de 60 a 80 m., estrato formado por material grueso como gravas y arenas con contenido variable de material limo – arcilloso. El acuífero Petorca Interior, presenta un ancho medio de 600 m. con una profundidad entre 60 y 80 m. Condiciones que hacen posible las cubicaciones en base a perfiles transversales, entregando un volumen entre 1000 a 1500 millones de m³., donde el volumen de agua almacenada varía de 100 a 150 millones de m³. En cuanto a las propiedades hidráulicas del acuífero, existen algunos indicadores calculados como la transmisibilidad, que indica la capacidad de transmitir agua desde un punto a otro en el acuífero, medido en m³/día/m., dato que de acuerdo al estudio de “CICA 1982”, estima la transmisibilidad entre 100 y 1000 m³/día/m., concentrándose los últimos valores en las zonas más cercanas al lecho del río. A través de sondeos, en pozos de la red de control de la DGA, es posible saber el

caudal específico del acuífero, propiedad muy ligada a la transmisibilidad, así los valores se desplazan entre 1 y 12 l/s/m.

Otra característica relevante, en lo que se refiere al acuífero, son las propiedades y características del agua alojada en el material acuífero, es decir la napa. El primer aspecto a considerar, son las Variaciones Históricas de los Niveles, que debido a la carencia de información acerca de los pozos del valle, no se cuenta con un registro de las variaciones. Las fluctuaciones del régimen del Río Petorca, hacen posible detectar que las mayores fluctuaciones se detectan en la confluencia de los ríos Pedernal y Sobrante, donde el alza de los niveles se efectúa en primavera y permanente drenaje durante la estación de estiaje, situación que pone al factor regadío con una importancia secundaria. Se estima la superficie freática del valle de Petorca alcanza a los 80 Km². Considerando un coeficiente de almacenamiento S de 10% a 15%, ha llevado a concluir que las fluctuaciones de 1 metro de la napa, producen variaciones en el almacenamiento del orden de los 8 a 12 millones de m³. de agua subterránea. Todo esto sujeto a la precisión del valor del coeficiente de almacenamiento y a la forma espacial del embalse subterráneo. En cuanto a la Profundidad del Nivel de Saturación, que se refiere a la profundidad bajo el nivel del terreno a que se encuentra la napa, es decir cuantos metros se debe excavar para encontrar el bolsón de agua subterránea. Para el valle de Petorca las profundidades de la napa no sobrepasan los 5 m., para el sector correspondiente al Acuífero Petorca Interior. Respecto del sentido que presenta el acuífero, este se manifiesta principalmente en el sentido del escurrimiento del Río Petorca, y en el sector de la confluencia de los ríos El Sobrante y Pedernal, la napa correspondiente a este último curso, fluye en el sentido noreste a sudoeste. Según el estudio diagnóstico “Proyecto Aconcagua 1994”, el sentido de escurrimiento del acuífero, se ha determinado sobre la base del plano de las piezometrías (líneas

de isopiezas), aunque las isopiezas son variables y fluctuantes, sus variaciones son de escasa magnitud. Las aguas subterráneas del valle del Río Petorca, respecto de su Calidad Química, muestran una tendencia a aguas Bicarbonatadas – Cálcidas, con vestigios de aguas Sódica – Sulfatadas, así la concentración de sales disueltas en el sector alto del valle de Petorca, muestra un valor de 300 ppm., a diferencia del sector hacia la costa que tiene un valor de 350 ppm. Además de las propiedades antes descritas, cabe mencionar la dinámica de las relaciones río – acuífero, que debido al escaso espesor y una permeabilidad relativamente alta, sobre todo a la sección que compete al valle del Pedernal, donde se produce una estrecha comunicación entre el acuífero y el río, esta comunicación se aprecia debido a la constante nivelación del acuífero con el río, generando a lo largo del río constantes recargas y descargas, presentando el acuífero reducida capacidad de regulación.

2.3.3 Estructura de Riego

Con el fin de redondear y complementar los análisis hidrológicos, y a su vez caracterizar la estructura de riego en la cuenca, hemos incluido en este punto un catastro de canales y afluentes, apoyado sobre un diagrama unifilar que gráfica la disposición de los canales. De igual manera que en los análisis hidromorfométricos de la cuenca, es posible identificar dos secciones en la cuenca de afluentes y canales, que presentan aportes a la estructura de riego de una manera diferenciada. Al identificar canales y afluentes provenientes de la ribera Oeste, nos es posible tener en cuenta que su aporte máximo posible, es de $0,354 \text{ m}^3/\text{seg.}$, y al revisar los aportes de los canales y afluentes provenientes de la ribera Este, la capacidad de aporte máximo es de $0,831 \text{ m}^3/\text{seg.}$ En este sentido, el aporte máximo de la estructura de riego de la cuenca, es de 1,185

m³/seg., siendo la sección Este la que aporta un 70% de los recursos hídricos superficiales para el regadío.

Los aportes superficiales de riego, son asignados a un total de 533,02 Hás., correspondientes a 104 usuarios, congregados en torno al uso de 11 canales y 2 afluentes, de los cuales se tiene registro de capacidad máxima de 10 canales y 1 afluente.

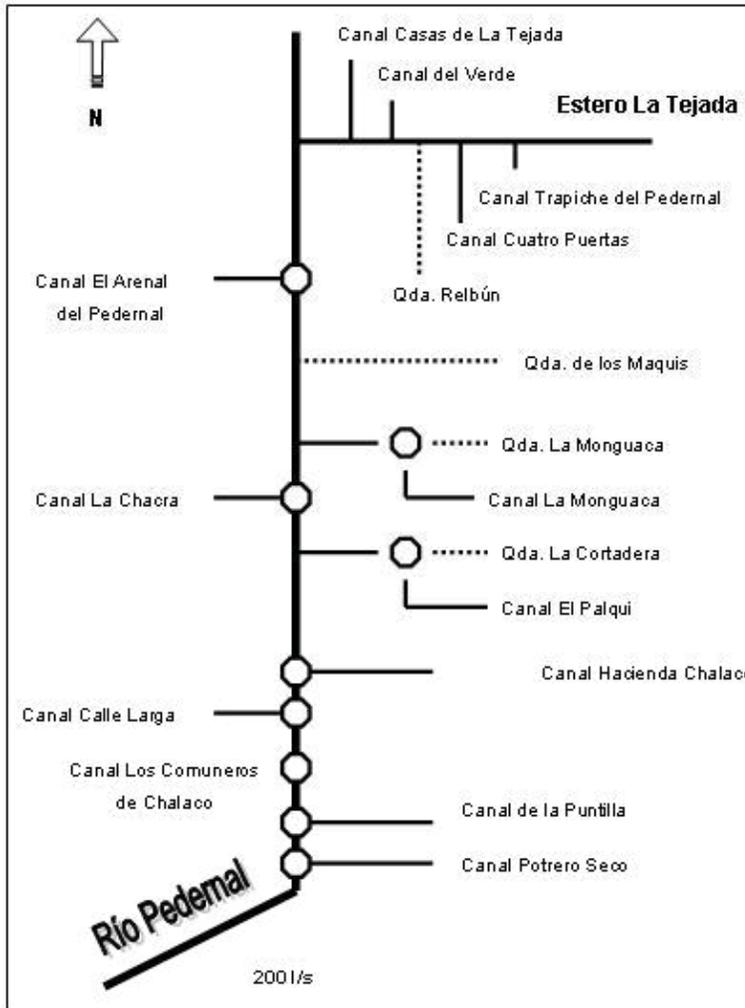
En último término, se reafirma que la sección oriental de la unidad hidroespacial, se configura como su soporte hídrico, es decir la estructura de riego está estrechamente ligada a la red drenaje, que presentan las características hidrográficas del área.

N°	Canal	Ribera	Uso	Organización de Canalistas	Reparto en sequía	Cap. Máx. m3/seg.	Hás. Regadas	Nro. de Usuarios	Dotac. Mes lt/s	Crítico lt/s/há.
1	Trapiche del Pedernal	E	R	Soc. Agric. El Pedernal		0,058	95,00	20	29	0,31
2	Las Cuatro Puertas	E	R	Soc. Agric. El Pedernal	12 hrs.	0,277	8,00	6	29	3,61
3	Del Verde	E	R	Soc. Agric. El Pedernal	100%		8,00	6	29	3,61
4	Las Casas de La Tejada	E	R	Soc. Agric. El Pedernal		0,099	7,00	2	29	4,14
5	El Arenal Del Pedernal	O	R	Soc. Agric. El Pedernal		0,034	12,00	6	29	2,42
6	La Chacra	O	R	Comunidad de Aguas		0,138	15,00	2	29	1,93
7	Hacienda Chalaco	E	R	Comunidad de Aguas	12 hrs.	0,090	40,00	10	29	0,73
8	Calle Larga	O	R	Comunidad de Aguas	100%	0,078	15,00	13	29	1,93
9	Los Comunes de Chalaco	O	R	Comunidad de Aguas		0,104	150,00	17	29	0,19
10	De La Puntilla	E	R	Comunidad de Aguas		0,171	50,00	9	29	0,58
11	Potrero Seco	E	R	Comunidad de Aguas		0,050	14,00	10	29	2,07
12	La Monguaca (Afluente)	E	R			0,096	114,02	2		
13	El Palqui (Afluente)	E	R				5,00	1		
Total Canales y Afluentes						1,185	533,02	104		

Fuente: Catastro DGA 1987
REG Ingenieros 1994

Nota: Algunos datos han sido corregidos por el autor, en virtud del manejo de otras fuentes de información.

DIAGRAMA UNIFILAR - CUENCA RÍO PETORCA



2.4 Características Geomorfológicas.

El rasgo morfológico fundamental, sobre el cual se basan los procesos geomorfológicos, en las estepas cálidas del área mediterránea de nuestro país, sector en el cual se emplaza nuestra investigación, es la confluencia de los ríos,

donde se produce un activo relleno de arenas finas y gravas, sector en el que la actividad agrícola tiene su pilar fundamental. Como ya antes se había mencionado, los procesos de depositación, tienen lugar en sectores del valle donde se han producido hundimientos tectónicos, de data terciaria. Estas áreas se presentan en al Cuenca del Pedernal fundamentalmente, en la afluencia del Estero Chalaco en su sección media y en la confluencia con el Río El Sobrante, en su sección terminal. En el sector superior de la cuenca, que tiene como afluente el Estero La Tejada, se muestran procesos geomorfológicos de menor magnitud, pero no menos importantes para la formación de suelos, almacenamiento de aguas subterráneas y el control hidrológico.

Sobre el escenario de las formaciones y procesos superficiales, en el área de investigación, y haciendo referencia al tema geológico, que manifiesta una estrecha relación, respecto de los materiales involucrados en los sedimentos Cuaternarios, con las estructuras pétreas del sector, tanto aluviales como coluviales, en los procesos de depositación y relleno del valle del Pedernal. Depósitos que se presentan a través de conos de deyección torrencial y escombros de falda.

La alternancia de los procesos de erosión y sedimentación, que es posible observar en los sectores de confluencia de los cursos hídricos, que generan niveles aterrazados, incide directamente en la formación de los suelos, siendo las terrazas más antiguas las que han evolucionado a suelos más óptimos, complementados con procesos pedogenéticos zonales. A su vez las gruesas acumulaciones de detritos, actúan como esponjas hídricas atrapando las aguas que entran desde los diversos afluentes de la cuenca hacia los principales sectores de confluencia, dando cabida al almacenamiento de aguas subterráneas.

Al revisar las características de media montaña del sector, nos encontramos con un ambiente mineral, donde el afloramiento rocoso entre los escasos matorrales, se encuentra fracturado y alterado químicamente. Como una formación superficial dominante, encontramos un horizonte compuesto por clastos angulosos, sedimentos finos y arcillas, donde prosigue en profundidad una roca basal menos meteorizada, se entiende este horizonte como un suelo típicamente de climas semiáridos de mediana altura, además afloran comúnmente series sedimentarias en laderas con pendientes superiores a 35°. La organización de los escombros de ladera, presenta dos posibilidades, ya sea como un horizonte discontinuo o canalizándose a partir de las depresiones que conectan las cumbres con las quebradas o valles. De este modo los conos detríticos de base de cerro, son las unidades de mayor acumulación de escombros, configurándose como los elementos morfológicos de transición entre laderas y fondos de valle.

El relieve montañoso de la cuenca, ha proporcionado los elementos morfológicos para que se formen en altura, redes de avenamiento detríticas, estas microcuencas en altura se conectan desde los bordes montañosos más bajos, a través de quebradas que alimenta al eje principal de la cuenca. Estas cuencas en altura se observan tanto en la vertiente oriental como en la occidental, siendo más extensas las del sector oriental, la existencia de estas unidades hidroespaciales en altura, posibilita el aporte de flujos subterráneos de agua, que aparecen en forma de vertientes permanentes en los niveles más cercanos al fondo de valle.

Las entidades montañosas que definen la cuenca, y además la enmarcan con su escenario de media montaña, son en la sección occidental el Co. Altos de Carén (2486 m.s.n.m.), Co. La Tenca (2450 m.s.n.m.), Mo. Frío (2398

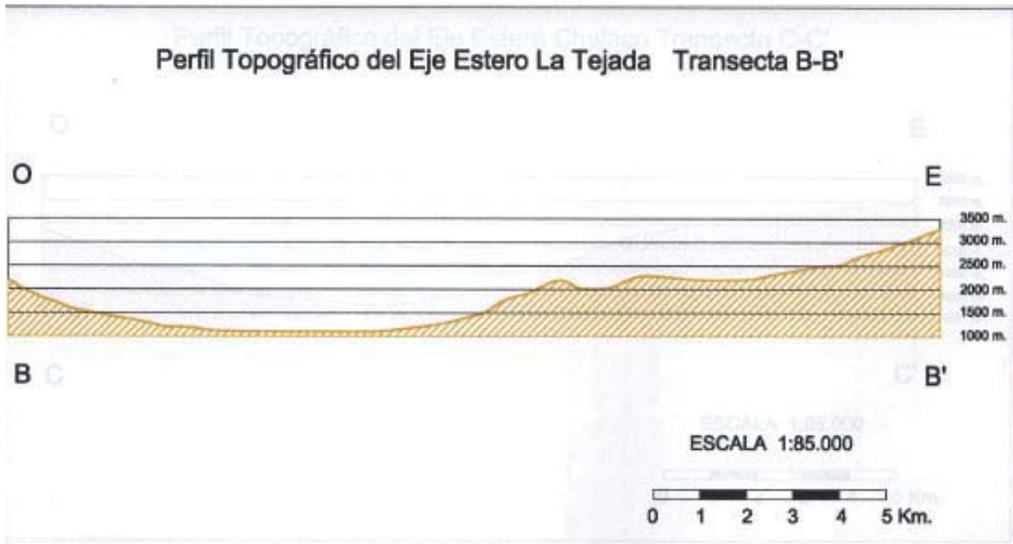
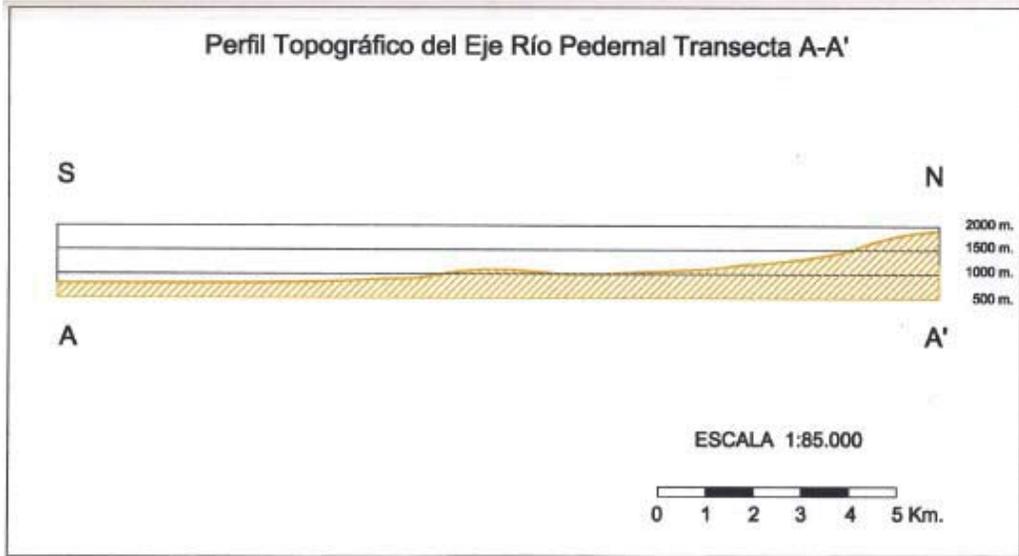
m.s.n.m.), Co. Pedernal (2331 m.s.n.m.); en la sección Norte encontramos el Co. Las Canchitas (2230 m.s.n.m.), Co. La Pila (2653 m.s.n.m.), Co. Baculomo (3108 m.s.n.m.); la sección oriental cuenta con alturas que superan los 3000 m.s.n.m., con el Co. Los Amarillos (2903 m.s.n.m.), Co. Los Leones (3008 m.s.n.m.), Mo. Alvarado (3331 m.s.n.m.), Mo Peñón (3308 m.s.n.m.), Co. La Gata (3174 m.s.n.m.); los cerros que se estructuran como divisorias respecto de la cuenca del Río El Sobrante, y con un constante descenso en altura en la sección sudoriental de la cuenca son el Co. Chamuscado (3192 m.s.n.m.), Co. El Valle (3162 m.s.n.m.), Co Negro (2910 m.s.n.m.) y el Co. Tongorito (1242 m.s.n.m.). Estas unidades de montaña se presentan como cadenas precordilleranas, modeladas a partir de rocas volcánico – clásticas, donde los cerros se encuentran disectados por quebradas distribuidas radialmente desde las inmediaciones de las cumbres, de esta forma los alineamientos montañosos secundarios se establecen como límites de las microcuencas. Dichos relieves altos se desarrollan en forma de lomas continuas, con una pendiente moderada en sentido longitudinal, pero de gran inclinación entre las líneas de cumbres y los talwegs profundamente encajonados. La pendiente de algunas laderas posibilita el afloramiento de series sedimentarias, en paredes casi verticales, acumulación de detritos que son evacuados por gravedad, esto determina que el acopio de escombros se establezca en las partes medias e inferiores de las laderas.

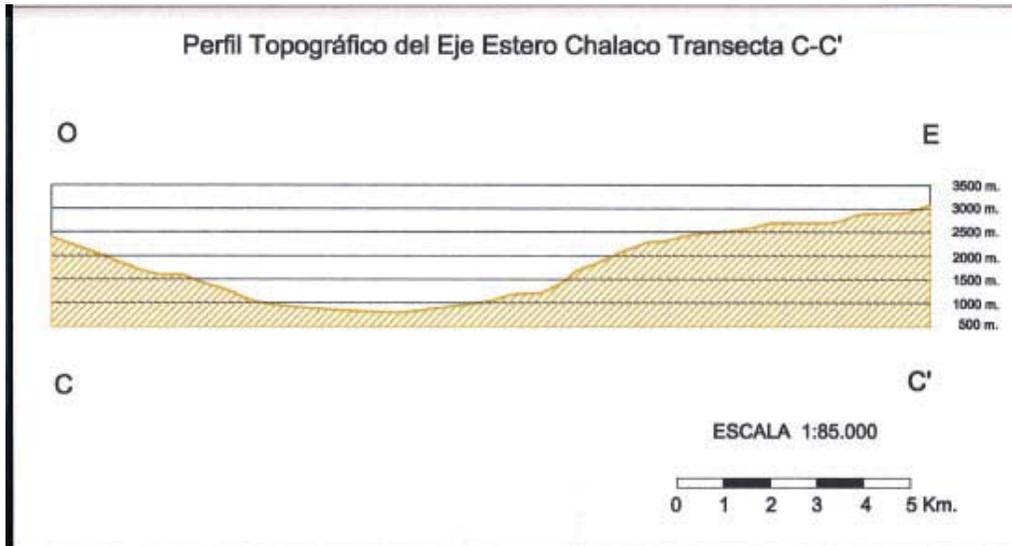
Las quebradas que aportan conos detríticos, de diversa pendiente y amplitud, partiendo del sector sudoccidental con la Qda. La Cantería, en la que afloran rocas graníticas de la Unidad San Lorenzo, que produce abundantes clastos. Siguiendo por el flanco occidental, destacan los conos de las quebradas el Chorrillo, La Quema, Montosa y El Clonqui, estas dos últimas están asociadas a los aportes aluviales en la confluencia del Estero La Tejada con eje

principal. Una serie de quebradas que han entregado sedimentos aluvionales al pequeño valle del Estero La Tejada, se disponen de sur a norte, estas son la quebrada los Carros, La Leona, Huracán y Chilca. Por la sección oriental, el aporte de sedimentos coluviales y aluviales, se hace más significativo hacia el Estero Chalaco, donde la quebrada Honda abre paso al ensanche del valle hacia el sur, la siguen las quebradas Agua de los Maquis y Araya, desde aquí los siguientes conos, forman un complejo de conos detríticos interconectados, basados en los sedimentos de las quebradas Cortadera, Palqui y El Estero Chalaco. Este complejo aluvial, se asocia a la formación de un valle tipo rinconada, pero con una inclinación mayor, es decir con una pendiente promedio de 24%.

Tomando como base morfológica general, la estructura hidrográfica, a partir de sus ejes de escurrimiento superficial, se han realizado perfiles topográficos de los ejes Río Pedernal (Transecta A – A'), Estero La Tejada (Transecta B – B') y Estero Chalaco (Transecta C – C'), a través de estos perfiles se ha calculado la pendiente media de estos. El eje del Río Pedernal presenta una pendiente media de 6%, a su vez los ejes La Tejada y Chalaco, se disponen transversalmente presentando pendientes medias diferenciadas según ladera, en el caso del eje La Tejada, presenta una pendiente media de 17,2% en la sección oeste y 16,2% en el flanco oriental. Para el eje Chalaco la pendiente media de la ladera oeste es de 33,1% y la ladera este de 23,4%.

En las siguientes páginas se presentan los perfiles antes mencionados.





2.5 Características de la Vegetación Natural.

La caracterización florística del área de estudio, expresada a partir de la composición de las comunidades del paisaje vegetal, las cuales están definidas por diversas especies, adaptadas a ciertos patrones tanto climáticos como geomorfológicos, es ampliamente arbustiva. En la cuenca del Pedernal se han identificado dos formaciones, donde la que cuenta con una mayor dominancia superficial, es el Matorral Andino Esclerófilo, desarrollado principalmente en el sector oriental de la cuenca, con una extensión ambiental que llega a los 212,1 Km². La otra formación que compone el escenario vegetacional, es el Matorral Espinoso de las Serranías, que cuenta con una extensión de su ambiente de 135,5 Km²., espacio ocupado en la sección occidental de área.

2.5.1 Matorral Esclerófilo Andino

El paisaje vegetal natural más representativo al interior de la Cuenca del Río Pedernal, se enmarca dentro de la *Región de la estepa Alto - Andina*, en la que se circunscribe la Sub – Región de los Andes Mediterráneos, caracterizada como unidad natural en torno a dos factores físico - ambientales. Por una lado climáticamente en esta Sub - Región predominan las precipitaciones invernales con una gradiente Norte – Sur. En segundo lugar, el relieve predominante es abrupto y montañoso, con laderas escarpadas donde son frecuentes los litosoles, dando un aspecto general de desierto de altitud.

Los factores que determinan la sectorización altitudinal de las comunidades vegetales, son el relieve y la altitud. La fisionomía de las especies dominantes, es arbustiva o herbácea, con carácter pulvinado (forma de cojín), aunque en algunos lugares predominan las gramíneas. En los niveles inferiores, penetran comunidades esclerófilas en solana y elementos caducifolios en umbría.

La formación vegetal denominada **Matorral Esclerófilo Andino**, es la comunidad que configura el paisaje florístico de la cuenca, donde se aprecia una disposición vegetacional en pisos en función del relieve, influenciada en gran parte por la exposición. Las asociaciones que es posible encontrar, que determinan el paisaje vegetal del Río Pedernal son las siguientes:

Colliguaja integerrima – Tetraglochin alatum.

Duraznillo – Horizonte.

Comunidad típica de las partes inferiores de las laderas, sobre todo en los sectores de aluvionamiento y en los coluvios rocosos, presentando un aspecto de matorral bajo, relativamente denso.

Especies representativas	: Colliguaja integerrima “duraznillo” Gymnophyton isatidicarpum “bío – bío” Tetraglochin alatum “horizonte”
Especies acompañantes	: <i>Erigeron berteroanus</i> <i>Mulinum spinosum</i> “neneo” Valenzuela trinervis “guindillo” Valeriana glauca
Especies comunes	: Acaena splendens “cadillo” Ephedra andina “pingopingo”

	<p>Viviania mariifolia</p> <p>“oreganillo”</p>
--	------------------------------------------------

Escallonia myrtoidea – Maytenus boaria.

Lun - Maitén

Esta comunidad la encontramos principalmente, en el lecho del río, junto a los cursos de agua.

Especies representativas	:	<p><i>Escallonia myrtoidea</i></p> <p>“lun”</p> <p><i>Maytenus boaria</i></p> <p>“maitén”</p>
Especies acompañantes	:	<p><i>Escallonia illinita</i></p> <p>“ñipa”</p> <p><i>Muehlenbeckia hastulata</i></p> <p>“quilo”</p>

Especies comunes	: Baccharis linearis “romerillo” Haplopappus canescens “hierba del chivato” Valenzuela trinervis “guindillo”
------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.5.2 Matorral Espinoso de las Serranías

La presencia vegetacional de segundo orden en el área de investigación, localizándose principalmente en la sección occidental del valle, corresponde a la Sub – Región del Matorral y del Bosque Espinoso, la que se circunscribe dentro de la gran *Región del Matorral y del Bosque Esclerófilo*. Dentro de las características básicas de la Región, está la dominancia del clima mediterráneo, de inviernos fríos y lluviosos con veranos cálidos y secos. Esta unidad vegetacional ha sido profundamente afectada por las actividades humanas, en el caso específico del valle, la cubierta arbustiva se observa alterada por el ganado caprino.

Las condiciones particulares de sus condiciones genéticas, aún persisten, como su relegación a ambientes particulares, en especial sobre sustratos vertisólicos, con altos contenidos de arcillas y suelos pedregosos, propios de los planos inclinados originados a partir de los coluvios de los sectores montañosos.

El **Matorral Espinoso de las Serranías**, es la formación vegetal correspondiente al sector Oeste del río, con fuerte determinismo en los factores físicos del relieve, ubicado en una ramificación montañosa intermedia de disposición Norte – Sur. Su fisionomía es heterogénea, dominando la condición xerófito de los arbustos espinosos.

Desde el punto de vista botánico, esta formación ha sido escasamente explorada, pudiendo vincular a la cuenca en estudio las siguientes agrupaciones vegetales:

***Colliguaja odorifera* – *Proustia cinerea*.**

Colliguay – Palo yegua.

Comunidad frecuente en las laderas altas y cumbres rocosas situadas por sobre los 1000 m.s.n.m.

Especies representativas	:	<i>Colliguaja odorifera</i> “colliguay”
Especies acompañantes	:	Adesmia arborea “palhuén” <i>Proustia cinerea</i>

		“palo yegua”
Especies comunes	:	<p>Ephedra andina</p> <p>“pingopingo”</p> <p>Erodium cicutarium</p> <p>“alfilerillo”</p> <p>Nassella chilensis</p> <p>“coironcillo”</p> <p>Notholaena mollis</p> <p>“doradilla”</p> <p>Pasithaea coerulea</p> <p>“azulillo”</p> <p>Porlieria chilensis</p> <p>“guayacán”</p> <p>Stipa plumosa</p> <p>“pasto rey”</p> <p>Trichocereus chilensis</p> <p>“quisco”</p>

Especies ocasionales	:	Chaetanthera linearis
----------------------	---	-----------------------

Tessaria abinsinthioides – *Baccharis pingraea*.

Brea – Chilquilla

Comunidad asociada a los cursos de agua, donde su estructura y composición se ven acondicionadas por las alteraciones que genera el hombre.

Especies representativas	:	<i>Baccharis pingraea</i> “chilco” <i>Tessaria abinsinthioides</i> “brea”
Especies acompañantes	:	Cotula coronopifolia “botón de oro” Distichlis spicata “grama salada” Psoralea glandulosa “culén”

		Selleira radicans “roseta”
Especies comunes	:	Salix chilensis “sauce amargo”
Especies ocasionales	:	Rubus ulmifolius “murra”

Puya berteroniana – *Adesmia arborea*.

Chagual – Palhuén.

Comunidad característica sobre los afloramientos rocosos y en las laderas de exposición norte.

Especies representativas	:	<i>Adesmia arborea</i> “palhuén” <i>Puya berteroniana</i> “chagual”
--------------------------	---	------------------------------------------------------------------------------

Especies acompañantes	: Colliguaja odorifera “colliguay” Trichocereus chilensis “quisco”
-----------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------

2.6 Características Agroclimáticas

Debido a la carencia de información climatológica específica, en el área de investigación, a través de estaciones meteorológicas establecidas y con datos constantes, hemos optado por adaptar la información contenida en los Distritos Agroclimáticos de CIREN – CORFO, los cuales están asociados a las coberturas de ortofotos 1:20.000. Los distritos agroclimáticos que corresponden espacialmente a la cuenca del Pedernal, se disponen longitudinalmente y son el distrito agroclimático N° 1 “Valle Río Petorca – Alto Carén”, el cual tiene una influencia de 42,12 Km². sobre la cuenca en su sección occidental; el distrito central o N° 2 “Valle Río Petorca – Cabildo”, tiene una influencia de 81,39 Km². en la cuenca; por último el distrito de la sección oriental o N° 3 “Valle Río Sobrante – Valle Río Colorado”, distrito que tiene la mayor influencia espacial sobre el área de la cuenca, con 224,06 Km². sector que recibe la influencia del distrito, en la red hídrica que incide decisivamente en la alimentación de los ejes hídricos fundamentales de la cuenca.

Cuadro de Parámetros Climáticos Térmicos para la Región.

Cuadro N°1 de Parámetros Climáticos.

<i>NOMBRE</i>	<i>PERÍODO</i>	<i>UNIDAD</i>
Características Térmicas estivales (C.T.E).		
Período libre de heladas probabilidad 50%.	Anual	Días
Suma de temperaturas sobre 10°C.	Septiembre a Febrero	Grados – Días
Temperatura máxima media del mes más cálido.	Enero	Grados Celsius
Temperatura media de los 6 meses más cálidos.	Octubre a Marzo	Grados Celsius
Humedad relativa media de los 6 meses más cálidos.	Octubre a Marzo	Porcentaje
Radiación media del mes más cálido.	Enero	Calorías Cm ² día

Características Térmicas Invernales (C.T.I).		
Fecha primera helada probabilidad 20%, 50%.	Anual	Día y mes
Fecha última helada probabilidad 20%, 50%.	Anual	Día y mes
Período de receso vegetativo.	Variable	Meses
Horas de frío bajo 7 °C.	Anual	Horas
Temperatura mínima media del mes más frío.	Julio	Grados Celsius
Temperatura media de los tres meses más fríos.	Junio a Agosto	Grados Celsius
Humedad relativa media de los 3 meses más fríos.	Junio a Agosto	Grados Celsius
Radiación solar media del mes más frío.	Julio	Calorías Cm ² día

Cuadro de Parámetros Climáticos Hídricos para la Región.

Cuadro N°2 de Parámetros Climáticos.

<i>NOMBRE</i>	<i>PERÍODO</i>	<i>UNIDAD</i>
Características Hídricas Estivales (C.H.E).		
Período seco, meses con sequía $I_h < 0.5$.	Variable	Meses
Déficit hídrico.	Anual	Milímetros
Precipitación media de los 3 meses más cálidos.	Diciembre a Febrero	Milímetros
Evapotranspiración potencial media de los 3 meses más cálidos.	Diciembre a Febrero	Milímetros
Índice de humedad de verano.	Diciembre a Febrero	Número
Características Hídricas Invernales (C.H.I).		
Período húmedo, meses con excedente hídrico $I_h > 1,0$.	Variable	Meses
Excedente Hídrico.	Anual	Milímetros
Precipitación media de los 3 meses	Junio a Agosto	Milímetros

más fríos.		
Evapotranspiración potencial media de los 3 meses más fríos.	Junio a Agosto	Milímetros
Índice de humedad de invierno.	Junio a Agosto	Número

2.6.1 Distrito Agroclimático N° 1

Nombre Toponímico: **Valle Río Petorca – Alto Carén.**

Ubicación Ecológica: Valles Transversales.

Fórmula Agroclimática:

$$\begin{array}{c|c} \frac{f \ 9 \ (26)}{e \ 8 \ (0)} & \frac{c \ 15 \ (2)}{b \ 0 \ (1)} \end{array}$$

Descripción Agroclimática

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS ESTIVALES

Período libre de heladas: 196 días.

SUMA DE TEMPERATURAS (SEP.-FEB.): 944 GRADOS-DÍAS

Temperatura máxima del mes más cálido: 26 ° C.

Temperatura media ($T^{\circ} > 10^{\circ}\text{C}$) de los 6 meses más cálidos (Oct. – Mar.):
16.5 °C

Humedad relativa media de los 6 meses más cálidos (Oct. – Mar.): 70%

Radiación solar de Enero: 619 cal/cm² día.

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS INVERNALES

Fecha primera helada (*): 1° Mayo (20 %); 1° Jun.(50%)

Fecha última helada: 1° Sep. (50%); 1° Oct. (20%)

Duración período de receso vegetativo. Meses con temperatura media $< 10^{\circ}\text{C}$:
Junio – Agosto

Hora de Frío ($T^{\circ} < 7^{\circ}\text{C}$) anual : 1500 horas

Temperatura mínima del mes más frío: 2.0 °C

Temperatura media de los 3 meses Más fríos (Jun. – Ago.): 8.0 °C

Humedad relativa media de los 3 meses Más fríos (Jun. – Ago.): 75%

Radiación solar de Julio: 180 cal/cm² día.

CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS ESTIVALES

Duración período seco. Meses con sequía $I_h < 0.5$: Noviembre a Marzo

Déficit hídrico de octubre a Marzo: 880 mm.

Precipitación de los 3 meses más cálidos (Dic. A Feb.): 9.9 mm.

Evapotranspiración potencial de los 3 meses más cálidos (Dic. – Feb): 600 mm.

Índice de humedad del verano: 0.0

CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS INVERNALES

Duración período húmedo. Meses con excedente hídrico, $I_h > 1$: Junio – Julio

Excedente hídrico anual: 94 mm.

Precipitación de los 3 meses más fríos (Jun. – Ago.): 224 mm.

Evapotranspiración potencial de los 3 meses más fríos (Jun. – Ago.): 155 mm.

Índice de humedad del invierno: 1.04

(*) Hay 20% de probabilidad de que ocurra antes del 1° de Mayo y 50% de que ocurra antes del 1° de Junio

2.6.2 Distrito Agroclimático N° 2

NOMBRE TOPONÍMICO: VALLE RÍO PETORCA CABILDO.

Ubicación Ecológica: Valles Transversales.

Fórmula Agroclimática:

i	1	(27)		b	8	(4)
g	9	(0)		b	0	(1)

DESCRIPCIÓN AGROCLIMÁTICA

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS INVERNALES

Período libre de heladas: 299 días

Suma de temperaturas 8 (Sep. – Feb.): 1.239 grados – días

Temperatura máxima del mes más cálido: 27.0 °C

Temperatura media ($T^{\circ} > 10^{\circ} \text{C}$) de los 6 meses más cálidos (Oct. – Mar.):
18.59 °C

Humedad relativa media de los 6 meses más cálidos (Oct. – Mar.): 71%

Radiación solar de Enero: 602 cal/cm² día

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS INVERNALES

Fecha primera helada (*): 10 de May. (20%); 1° Jul. (50%)

Fecha última helada: 12 Jul. (50%); 31 Ago. (20%)

Duración período receso vegetativo. Meses con temperatura media $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$:

Junio – Julio

Hora de Frío ($T^{\circ} < 7\text{ }^{\circ}\text{C}$) anual: 800 horas

Temperatura mínima del mes más frío: $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura media de los 3 meses más fríos (Jun. – Ago.): $10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Humedad relativa media de los 3 meses más fríos (Jun. – Ago.): 80%

Radiación solar de Julio: $177\text{ cal/cm}^2\text{ día}$

CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS ESTIVALES

Duración período seco. Meses con sequía $I_h < 0.5$: Septiembre a Marzo

Déficit Hídrico de Octubre a Marzo: 923 mm.

Precipitación de los 3 meses más cálidos: 6.3 mm.

Evapotranspiración potencial de los 3 meses más cálidos (Dic. – Feb.): 581.4 mm.

Índice de humedad del verano: 0.0

CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS INVERNALES

Duración período húmedo. Meses con excedente hídrico, $I_h > 1$: Junio – Julio

Excedente Hídrico anual: 28 mm.

Precipitación de los 3 meses más fríos (Jun. – Ago.): 159 mm.

Evapotranspiración potencial de los 3 meses más fríos (Jun. – Ago.): 162 mm.

Índice de humedad del invierno: 1.02

(*) Hay 20% de posibilidad de que ocurra antes del 10 de Mayo y 50% de que ocurra antes del 1° de Julio.

2.6.3 Distrito Agroclimático N° 3

NOMBRE TOPONÍMICO: VALLE RÍO SOBRANTE – VALLE RÍO COLORADO

Ubicación Ecológica: Precordillera

Fórmula Agroclimática:

f	7	(24)	d	18	(0)
F	9	(0)	b	1	(1)

DESCRIPCIÓN AGROCLIMÁTICA

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS ESTIVALES

Período libre de heladas: 179 días

Suma de temperaturas (Sep. – Feb.): 746 grados – días

Temperatura máxima del mes más cálido: 24.4 °C

Temperatura media ($T^{\circ} > 10^{\circ}\text{C}$) de los 6 meses más cálidos (Oct. – Mar.):
11.5 °C

Humedad relativa media de los 6 meses más cálidos (Oct. – Mar): 51%

Radiación solar de Enero: 594 cal/cm² día

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS INVERNALES

Fecha primera helada (*): 23 de Abr. (20%); 3 Jun. (50%)

Fecha última helada: 5 Ago. (50%), 18 Ago. (20%)

Duración período receso vegetativo. Meses con temperatura media < 10°C:
Junio a Septiembre

Hora de frío ($T^{\circ} < 7^{\circ}\text{C}$) anual: 1830 horas

Temperatura mínima del mes más frío: 0.7 °C

Temperatura media de los 3 meses más fríos (Jun. – Ago.): 8.1 °C

Humedad relativa media de los 3 meses más fríos (Jun. – Ago.): 67%

Radiación solar de Julio: 172 cal/cm² día

CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS ESTIVALES

Duración período seco. Meses con sequía $I_h < 0.5$: Octubre a Marzo

Déficit hídrico de Octubre a Marzo: 910 mm.

Precipitación de los 3 meses más cálidos (Dic. – Feb): 32.5 mm.

Evapotranspiración potencial de los 3 meses más cálidos (Dic. – Feb.): 571 mm.

Índice de humedad del verano: 0.03

CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS INVERNALES

Duración período húmedo. Meses con excedente hídrico, $I_h > 1$: Junio – Julio

Excedente hídrico anual: 139 mm.

Precipitación de los 3 meses más fríos (Jun. – Ago): 284 mm.

Evapotranspiración potencial de los 3 meses más fríos (Jun. – Ago.): 147.6 mm.

Índice de humedad del invierno: 1.33

(*) Hay un 20 % de probabilidad de que ocurra antes del 23 de Abril y 50% de que ocurra antes del 3 de Junio

Nota: los valores que se dan para los parámetros en estas descripciones agroclimáticas son válidos solamente como una representación promedio del área comprendida al interior de los distritos agroclimáticos.

2.7 Características y Unidades descriptoras de las Capacidades de Uso de Suelo.

Suelos Identificados en el Estudio Agrológico de CIREN-CORFO, para el Área de Estudio.

Definición de descriptores

a) Textura:

Los términos de texturas, están basados en el triángulo textural del Departamento de Agricultura de EE.UU..

La textura superficial corresponde a los 20 cm. de suelos; en caso de existir más de un horizonte con diferentes texturas, debe referirse a la mezcla de ellos. Esta textura se denomina de acuerdo al agrupamiento textural.

Textura	Agrupamiento Textural
---------	-----------------------

Arcillosa	
Arcillo limosa	Fina
Arcillo arenosa	
Franco arcillosa	
Franco arcillo limosa	Moderadamente fina
Franco arcillo arenosa	
Franca	
Franco limosa	Media
Franco arenosa muy fina	
Franco arenosa fina	Moderadamente gruesa
Franco arenosa	
Areno francosa fina	
Areno francosa muy fina	
Areno francosa gruesa	Gruesa
Arena muy fina	
Arena fina	
Arena media	Muy gruesa

Arena gruesa	
--------------	--

b) Profundidad:

La profundidad se mide en función de la existencia de un impedimento que imposibilita o limita la penetración de raíces.

Los rangos a utilizar son los siguientes:

Profundidad	cm.
Profundo	Mayor de 100
Moderadamente profundo	75 – 100 *
Ligeramente profundo	50 – 75
Delgado	25 – 50
Muy delgado	Menor de 25

* La clase Moderadamente profundo puede variar entre 50 y 100 cm. en algunos suelos, principalmente los de uso ganadero o forestal.

c) Pendientes:

Pendientes simples.

Clase de Pendiente	Porcentaje
Plano	0 – 1
Ligeramente inclinado	1 – 2
Suavemente inclinado	2 – 3
Moderadamente inclinado	3 – 8
Fuertemente inclinado	8 – 15
Moderadamente escarpado	15 – 25
Escarpado	25 – 45
Muy escarpado	45 – 65

Pendientes complejas.

Clase de Pendiente	Porcentaje
Casi plano	1 – 3
Ligeramente ondulado	2 – 5
Suavemente ondulado	5 – 8
Moderadamente ondulado	8 – 15

Fuertemente ondulado	15 – 20
De lomajes	20 – 30
De cerros	30 – 50
De montañas	Mayor de 50

d) Pedregosidad y Rocosidad Superficial

Se refiere a la presencia de grava o piedras de superficie, denominándose grava a los fragmentos de 2 a 7,5 cm. de diámetro. Los fragmentos de 7,5 a 25 cm. se denominan piedras. Las clases de pedregosidad están definidas por las mezclas de clastos entre 2 y 25 cm. Cuando se presenta sólo grava superficial, el porcentaje considerado será diferente y se indica entre paréntesis.

Las clases de pedregosidad “abundante” y “muy abundante” pueden incluir clastos mayores de 25 cm. de diámetro.

Clase de Pedregosidad	Porcentaje
Sin pedregosidad	Menor de 5 (menor de 10)
Ligera pedregosidad	5 – 15 (10 – 20)

Moderada pedregosidad	15 – 35 (20 – 40)
Abundante pedregosidad	35 – 60 (40 – 85)

Clase de Roccosidad	Porcentaje
Sin rocosidad	Menor de 0.1
Ligera rocosidad	0.1 – 3.0
Moderada rocosidad	3.0 – 5.0
Abundante rocosidad	5.0 – 15.0
Muy abundante rocosidad	Mayor de 15.0

e) **Erosión**

Clase de Erosión
Ligera
Moderada
Severa
Muy severa

f) Drenaje

Clase de Drenaje
Muy pobre
Pobre
Imperfecto
Moderado
Bueno
Excesivo

g) Inundaciones

Inundación frecuente de tipo periódico

Inundación muy frecuente o casi permanente

Clasificaciones Interpretativas

a) Capacidad de Uso de los Suelos

La agrupación de los Suelos en Clase, Subclase y Unidades de Capacidad de Uso es una ordenación de los suelos existentes para señalar su relativa adaptabilidad a ciertos cultivos. Además, indica las dificultades y riesgos que se pueden presentar al usarlos. Está basada en la Capacidad de la Tierra para producir, señalando las limitaciones naturales de los suelos.

Las clases convencionales para definir las Clases de Capacidad de Uso son ocho, designándose con números romanos del I al VIII, ordenadas según sus crecientes limitaciones y riesgos en el uso.

a.1. Clases de Capacidad de Uso

Tierras adaptadas para cultivos

CLASE I

Los suelos clase I tienen pocas limitaciones que restrinjan su uso. Son suelos casi planos, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, poseen buena capacidad de retención de humedad y la fertilidad natural es buena o responden en muy buena forma a las aplicaciones de fertilizantes. Los rendimientos que se obtienen, utilizando prácticas convenientes de cultivo y manejo, son altos en relación con los de la Región. Los suelos se adaptan para cultivos intensivos. En su uso se necesitan prácticas de manejo simples para mantener su productividad y conservar su fertilidad natural.

CLASE II

Los suelos Clase II presentan algunas limitaciones que reducen la elección de los cultivos o requieren moderadas prácticas de conservación. Corresponden a suelos planos con ligeras pendientes. Son suelos profundos o moderadamente profundos, de buena permeabilidad y drenaje, presentan texturas favorables, que pueden variar a extremos más arcillosos o arenosos que la Clase anterior.

Las limitaciones más corrientes son:

- Pendiente suave.
- Moderada susceptibilidad a la erosión por agua o viento o efecto adverso moderado de erosión pasada.
- Profundidad menor que la ideal.
- Estructura y facilidad de laboreo desfavorable.
- Ligeras o moderadas salinidades o sodicidades fácilmente corregibles, pero con posibilidad de recurrencia.
- Humedades corregibles por drenaje, pero existe siempre como una limitación moderada.
- Limitaciones climáticas ligeras.

Estas limitaciones pueden presentarse solas o combinadas.

CLASE III

Los suelos de la Clase III presentan moderadas limitaciones en su uso y restringen la elección de los cultivos, aunque pueden ser buenas para ciertos cultivos. Tienen severas limitaciones que reducen la elección de plantas o requieren de prácticas especiales de conservación o de ambas.

Las limitaciones más corrientes para esta Clase pueden resultar del efecto de una o más de las siguientes condiciones:

- Relieve moderadamente inclinado o suavemente ondulado.
- Alta susceptibilidad a la erosión por agua o vientos o severos efectos adversos de erosiones pasadas.
- Suelo delgado sobre un lecho rocoso, hardpan, fragipán, etc., que limita la zona de arraigamiento y almacenamiento de agua.
- Permeabilidad muy lenta en el subsuelo.
- Baja capacidad de retención de agua.
- Baja fertilidad no fácil de corregir.
- Humedad excesiva o algún anegamiento continuo después de drenaje.
- Limitaciones climáticas moderadas.

Los suelos de esta Clase requieren prácticas moderadas de conservación y manejo.

CLASE IV

Los suelos de Clase IV presentan severas limitaciones de uso que restringen la elección de cultivos. Estos al ser cultivados, requieren muy cuidadosas prácticas de manejo y de conservación, más difíciles de aplicar y mantener que las de la Clase III. Los suelos en Clase IV pueden usarse para cultivos, praderas, frutales, praderas de secano, etc. Los suelos de esta clase pueden estar adaptados sólo para dos o tres de los cultivos comunes y la cosecha producida puede ser baja con relación a los gastos sobre un período largo de tiempo.

Las limitaciones más usuales para los cultivos de esta Clase se refieren a:

- Suelos delgados.
- Pendientes pronunciadas.
- Relieve moderadamente ondulado y disectado.
- Baja capacidad de retención de agua.
- Humedad excesiva con riesgos continuos de anegamiento después del drenaje.
- Severa susceptibilidad a la erosión por agua o viento o severa erosión efectiva.

Tierras de uso limitado: generalmente no adaptadas para cultivos

Las limitaciones de estas Clases de suelo pueden ser modificadas mediante grandes movimientos de tierra y/o continuos procesos de habilitación o recuperación.

CLASE V

Los suelos de Clase V tienen escaso o ningún riesgo de erosión, pero presentan otras limitaciones que no pueden removerse en forma práctica y que limitan su uso a empastadas, praderas naturales de secano o forestales.

Los suelos de esta Clase son casi planos, demasiado húmedos o pedregosos y/o rocosos para ser cultivados. Están condicionados a inundaciones frecuentes y prolongadas o una salinidad excesiva.

Los suelos son planos o plano inclinado (piedmont) y que por efectos climáticos no tienen posibilidad de cultivarse, pero poseen buena aptitud para la producción de praderas todo el año o parte de él; como ejemplo puede citarse: turbas, pantanos, mallines, ñadis, etc.; es decir suelos demasiado húmedos o inundados pero susceptibles de ser drenados, no para cultivos sino para producción de pasto. Otros suelos en posición de piedmont en valles andinos y/o costinos por razones de clima (pluviometría o estación de crecimiento demasiado corta, etc.), no pueden ser cultivados pero donde los suelos pueden emplearse en la producción de praderas o forestal.

CLASE VI

Los suelos de Clase VI corresponden a suelos inadecuados para los cultivos y su uso está limitado a pastos y forestales. Los suelos tienen limitaciones continuas que no pueden ser corregidas, tales como: pendientes pronunciadas, susceptibles a severa erosión; efectos de erosión antigua, pedregosidad excesiva, zona radicular poco profunda, excesiva humedad o anegamientos, clima severo, baja retención de humedad, alto contenido de sales o sodio.

CLASE VII

Son suelos con limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para los cultivos. Su uso fundamental es pastoreo y forestal. Las restricciones de suelos son más severas que en la Clase VI por una o más de las limitaciones siguientes que no pueden corregirse: pendientes muy pronunciadas, erosión, suelo delgado, piedras, humedad, sales o sodio, clima no favorable, etc.

CLASE VIII

Corresponde a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación o protección de hoyas hidrográficas.

a.2 Sub - clase de Capacidad de Uso

Está constituida por un grupo de suelos dentro de una Clase que posee el mismo tipo de limitaciones que se reconocen a este nivel y son:

- s: suelo.
- w: humedad, drenaje o inundación.
- e: riesgo de erosión o efectos de antiguas erosiones.
- cl: clima.

a.3. Unidades de Capacidad de Uso

En Chile se utilizan las siguientes unidades:

0. Suelos que presentan una estrata arenosa gruesa o con muchas gravas que limitan la retención de humedad y la penetración de las raíces.
1. Erosión actual o potencial por agua o viento.
2. Drenaje o riesgos de inundación.
3. Subsuelo o substrato de permeabilidad lenta o muy lenta.
4. Texturas gruesas o con gravas en todo el pedón.
5. Texturas finas en todo el pedón.
6. Salinidad o sodicidad suficiente para constituir una limitación o riesgo permanente.
7. Suficientes fragmentos de rocas superficiales para interferir en las labores actuales.
8. Hardpan, fragipán o lecho rocoso en la zona de arraigamiento.
9. Baja fertilidad inherente al suelo.
10. Otras no especificadas.

b) Categorías de Suelos para Regadío

Una categoría de Suelos para Regadío consiste en una agrupación de suelos con estos fines que se asemejan con respecto al grado de sus limitaciones y riesgos en su uso.

No se puede establecer una delimitación muy exacta entre las Categorías de Suelos para regadío, sin embargo, hay ciertas características inherentes a cada una de ellas. A continuación se define cada una de las seis categorías.

b.1. Categorías

CATEGORÍA 1

Muy bien adaptada. Los suelos de esta Categoría son muy apropiados para el regadío y tienen escasas limitaciones que restringen su uso. Son suelos casi planos, profundos, permeables y bien drenados, con una buena capacidad de retención de agua.

CATEGORÍA 2

Moderadamente bien adaptada. Los suelos de esta Categoría son moderadamente apropiados para el regadío y poseen algunas limitaciones que reducen la elección de cultivos y/o requieren prácticas especiales de conservación; una pequeña limitación con respecto a cualquiera de las características de los suelos mencionados bajo la Categoría 1°, coloca generalmente los suelos en Categoría 2.

CATEGORÍA 3

Pobremente adaptada. Los suelos de esta Categoría son poco apropiados para el regadío y tienen limitaciones muy serias que reducen la elección de cultivos y requieren de prácticas de conservación.

CATEGORÍA 4

Muy pobrementemente adaptada. Los suelos de esta Categoría son muy poco apropiados para el regadío y tienen limitaciones muy serias que restringen la elección de los cultivos. Requieren un manejo muy cuidadoso y/o prácticas especiales de conservación.

CATEGORÍA 5

Esta es la Categoría de condiciones especiales. Los suelos de la Categoría 5 no cumplen con los requerimientos mínimos para las Categorías 1 a 4. Con condiciones climáticas favorables y prácticas especiales de tratamiento, manejo y conservación pueden ser aptos para ser usados en cultivos especiales.

CATEGORÍA 6

No apta. Los suelos de esta Categoría no son apropiados para el regadío y corresponden a aquellos que no cumplen con los requerimientos mínimos para ser incluidos en las Categorías 1 a 5.

b.2. Subcategorías

Son agrupaciones dentro de cada Categoría en las cuales se indica la causa por la que una superficie determinada se considera inferior a la primera Categoría, éstas se indican como subíndice las letras “s”, “t” o “w” al número de la Categoría, si la deficiencia es por “suelo”, “topografía” o “drenaje” respectivamente. La Subcategoría refleja el factor más limitante para la condición de riego.

c) Clases de Drenaje

Sobre la base de las observaciones e inferencias usadas para la obtención del drenaje externo, permeabilidad y drenaje interno se obtienen las Clases de Drenaje, a partir del Soil Survey Manual, 1984 USDA.

Seis Clases de Drenaje son usadas en la descripción de los suelos y su definición es como sigue:

Clase 1. Muy pobremente drenado

El agua es removida del suelo tan lentamente que el nivel freático permanece en o sobre la superficie la mayor parte del tiempo. Los suelos generalmente ocupan lugares planos o deprimidos y están frecuentemente inundados.

Los suelos son suficientemente húmedos para impedir el crecimiento de los cultivos (excepto el arroz), a menos que se les provea de un drenaje artificial.

Clase 2. Pobrementamente drenado

El agua es removida tan lentamente que el suelo permanece húmedo una gran parte del tiempo. El nivel freático está comúnmente en o cerca de la superficie durante una parte considerable del año. Las condiciones de pobrementamente drenado son debidas al nivel freático alto, o capas lentamente permeables en el pedón, al escurrimiento o a alguna combinación de estas condiciones.

La gran cantidad de agua que permanece en y sobre los suelos pobrementamente drenados impide el crecimiento de los cultivos bajo condiciones naturales en la mayoría de los años. El drenaje artificial es generalmente necesario para producción de cultivo.

Clase 3. Drenaje imperfecto

El agua es removida del suelo lentamente, suficiente para mantenerlo húmedo por períodos, pero no durante todo el tiempo. Los suelos de drenaje imperfecto comúnmente tienen capas lentamente permeables dentro del pedón, niveles freáticos altos, suplidos a través del escurrimiento, o una combinación de estas

condiciones. El crecimiento de los cultivos es restringido a menos que se provea drenaje artificial.

Clase 4. Drenaje moderado

El agua es removida lentamente, de tal forma que el pedón está húmedo por poca, pero significativa parte del tiempo. Los suelos de drenaje moderado comúnmente tienen capas lentamente permeables dentro o inmediatamente bajo el “solum”, un nivel freático relativamente alto, sumado al agua a través del escurrimiento, o alguna combinación de estas condiciones.

Clase 5. Bien drenado

El agua es removida del suelo fácilmente pero no rápidamente. Los suelos bien drenados comúnmente tienen texturas intermedias, aunque los suelos de otras clases texturales pueden también estar bien drenados. Los suelos bien drenados retienen cantidades óptimas de humedad para el crecimiento de las plantas después de lluvias o adiciones de agua de riego.

Clase 6. Excesivamente drenado

El agua es removida del suelo muy rápidamente. Los suelos excesivamente drenados son comúnmente litosoles o litosólicos y pueden ser inclinados, muy porosos o ambas posibilidades. El agua proveniente de las precipitaciones no es suficiente en estos suelos para la producción de cultivos comunes, por lo que

necesitan de regadío e incluso así, no pueden lograrse rendimientos máximos en la mayoría de los casos.

Cuando la estructura y porosidad son muy favorables, se puede subir en una clase de aptitud del suelo. A la inversa, cuando estos factores están limitados se puede bajar la aptitud a la clase siguiente. En los suelos estratificados, un quiebre abrupto de textura que provoca un nivel freático suspendido, permite castigar la aptitud del suelo hasta la clase siguiente.

d) Clase de Aptitud Frutal

La conceptualización o categorización en función de la Aptitud frutal, se maneja con relación a parámetros correspondientes a la Serie de suelo en cuestión, siendo los elementos más significativos para su determinación la *profundidad efectiva, la textura superficial y subsuperficial, el drenaje interno, la permeabilidad, la pendiente, la erosión y las características químicas básicas.*

Clase A. Sin limitaciones

Suelos cuya profundidad efectiva es superior a 100 cm³., la textura superficial varía de areno francosa fina a franco arcillosa, la textura de los subsuelos varía de franco arenoso a franco arcilloso; de buen drenaje, pero que pueden presentar barreras escasas, finas y débiles, a más de 100 cm. de profundidad, posee una permeabilidad de moderada a moderadamente rápida (2 a 12,5

cm./hora); pendientes entre 0 y 1%, libres de erosión, con una baja salinidad y escasos carbonatos.

Clase B. Ligeras limitaciones

Suelos cuya profundidad varía entre 75 y 100 cm., la textura superficial varía entre franco arenosa fina y arcillosa. La textura del subsuelo varía de franco arenosa a franco arcillosa, el drenaje puede ser bueno con barreras escasas, finas, débiles a más de 75 cm. de profundidad; la permeabilidad varía entre moderada y moderada rápida (a 12,5 cm./hora); la pendiente debe ser inferior a 3% y la erosión escasa o nula; moderada salinidad y escasos carbonatos.

Clase C. Moderadas limitaciones

Suelos cuya profundidad efectiva varía entre 40 y 75 cm., tanto la textura superficial como la del subsuelo varían entre franco arenosa fina y arcillosa, el drenaje es excesivo a moderadamente bueno, puede presentar barreras comunes, medias y diversas a más de 75 cm. de profundidad, la permeabilidad varía de moderada lenta a rápida (0,5 a 25 cm./hora), la pendiente es inferior a 6% y la erosión puede ser moderada; la salinidad es media y los carbonatos van de moderados a abundantes.

Clase D. Severas limitaciones

Suelos cuya profundidad efectiva puede ser inferior a 30 cm., la textura superficial del subsuelo es variada; el drenaje puede ser imperfecto hacia abajo, y presentar cualquier tipo de obstáculos; la permeabilidad varía de muy lenta a muy rápida (-0,5 a 25 cm./hora), la pendiente puede ser superior a 6% y la erosión puede llegar a ser severa, la salinidad es alta y el contenido de carbonato es elevado.

Clase E. Sin aptitud frutal

Todos los suelos que por sus características negativas no permiten el desarrollo de las especies frutales

e) **Aptitud Agrícola o Forestal**

Agrupación convencional de los suelos que presentan características similares en cuanto a su aptitud para el crecimiento de las plantas y se representa bajo un mismo tipo de manejo y está basada en un conjunto de alternativas que relacionan suelo - agua - planta.

Grupo de Aptitud 1

Corresponde a suelos que no presentan limitaciones para todos los cultivos de la Región. Se incluyen dentro de este grupo los suelos clasificados en Clase I de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 2

Se refiere a suelos que presentan ligeras limitaciones para todos los cultivos de la región. Incluyéndose en este grupo los suelos de la Clase II de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 3

Son suelos que presentan moderadas limitaciones para todos los cultivos de la Región. Se incluyen en esta agrupación los suelos clasificados en las Clase IIIs, IIIe y IIIw de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 4

Corresponde a suelos que presentan severas limitaciones para los cultivos de la Región. Agrupa a los suelos de Clase IVs, IVw y IVe de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 6

En esta agrupación se consideran los suelos destinados para praderas. Corresponde a las Clases VI s, VI w y VI e de Capacidad de Uso. Se incorpora a este grupo los suelos de Clase VII mal drenados o delgados.

Grupo de Aptitud 7

Suelos de aptitud preferentemente forestal, de Clase VIII de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 8

Sin aptitud agrícola ni forestal. Clase VIII de Capacidad de Uso.

Grupo de Aptitud 9

Suelos que presentan salinidad y/o alcalinidad y mal drenaje. Aptitud para cultivos hortícolas, chacras y pastos tolerantes a la salinidad. Corresponde a las Clases IIIw, IVw, VIw de Capacidad de Uso. Incluye suelos con problemas de salinidad y bien drenados, de las Clases IVs y VI.

f) Erosión Actual

Erosión es el movimiento de arrastre de las partículas del suelo por los agentes naturales como el viento, el agua, el hielo, etc., eventos erosivos que indican los daños que se han producido o podrían producirse. Al mismo tiempo es un indicador de los procesos que han acontecido o acontecen en el suelo.

La medida de los procesos erosivos es en términos estimativos, debido a la dificultad de relacionar datos de los suelos originarios. En la definición de las clases de erosión, se utiliza la remoción efectiva del suelo o de parte de él, pérdidas de fertilidad del suelo son reflejadas a partir del color, afloramiento de

materiales parentales, reducción de la vegetación e indicadores de cantidad y magnitud de zanjas. Considerando tanto la erosión de manto como la erosión lineal, se asume una escala de estado de erosión, considerando cinco etapas:

0 Sin erosión.

1 Ligera.

2 Moderada.

3 Severa.

4 Muy Severa.

Descripción, Claves y Símbolos Cartográficos para la interpretación de las Series de Suelos.

MC VIIe: (Misceláneo Coluvial) Corresponde a terrenos pedregosos, disectados, formando abanico en la parte media y baja de los cerros. Están constituidos por gravas, piedras y bolones heterogéneamente repartidos, no consolidados, con matriz preferentemente de textura arenosa fina a franco arenosa. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: VIIe1

Clase de Drenaje: 5

Categoría de Riego: 6

Aptitud Frutal: E

Erosión: 1

Aptitud Agrícola: 7

MQ- 1 VIII: (Misceláneo Quebrada) Corresponde a terrenos de pendientes abruptas por donde escurren los cursos de agua, muy abundantes piedras y rocas y con erosión activa.

Capacidad de uso: VIII

Clase de Drenaje: 6

Categoría de Riego: 6

Aptitud Frutal: E

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 8

TR: Tranque

MR VIII: (Misceláneo Río) Corresponde a terrenos en posición de terraza aluvial reciente, de escaso desarrollo en sus perfiles, con alto contenido de

gravas, piedras y bolones y con vegetación arbustiva escasa. Se clasifica en.

Capacidad de Uso: VIII

Clase de Drenaje: 6

Categoría de Riego: 6

Aptitud Frutal: E

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 8

2.7.1 CHR - Serie Chagres, franco arenoso fino:

La Serie Chagres se clasifica en el Orden *Inceptisol*.

Suelo sedimentario, reciente, de origen aluvial, delgado; de textura franco arenosa y de color pardo grisáceo oscuro en la superficie; de textura arenosa francosa y color pardo grisáceo muy oscuro en profundidad. Substrato aluvial constituido por gravas redondeadas. Suelo de topografía plana, de permeabilidad rápida y bien drenado. Presenta pedregosidad moderada tanto en la superficie como en el perfil.

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm.)

0 - A ₁	Pardo grisáceo muy oscuro en húmedo; franco arenosa fina; no plástico y no adhesivo; muy friable en húmedo; estructura de bloques subangulares medios, débiles. Raíces finas abundantes; poros finos, medios y gruesos abundantes; actividad biológica común. Grava redondeada común.
18 - 32 B	Pardo oscuro en húmedo; franco arenosa; no plástico y no adhesivo; muy friable en húmedo; estructura de bloques subangulares medios, débiles. Raíces finas escasas; poros finos abundantes; actividad biológica escasa. Grava y Gravilla redondeada escasa. Límite lineal, claro.
32 - 55 C ₁	Pardo grisáceo muy oscuro en húmedo; areno francosa; no plástico y no adhesivo; suelto en húmedo; estructura de grano simple. Grava redondeada común, gravilla abundante. Límite ondulado, abrupto.
55 - 70 C ₂	Substrato aluvial constituido por clastos redondeados de diferentes tamaños y naturaleza petrográfica, con escasa matriz arenosa gruesa.

Rango de Variaciones

La profundidad efectiva varía de 30 a 50 cm. y descansa sobre un substrato aluvial de composición mixta. Suelo de topografía plana, de pedregosidad escasa a abundante en la superficie y de drenaje bueno a imperfecto.

En el primer horizonte la textura varía de franco arenosa fina a areno francosa y el color de pardo grisáceo muy oscuro a pardo grisáceo, la pedregosidad varía de ligera a abundante.

En el segundo horizonte la textura varía de franco arenosa a franco arenosa fina y el color es pardo oscuro. La pedregosidad de ligera a abundante.

En el tercer horizonte la textura varía de areno francosa a arenosa y el color de pardo grisáceo oscuro a pardo oscuro. La pedregosidad de moderada a abundante.

CHR-1 VIs: Representa a la Serie y corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa, delgada, plana, con moderada pedregosidad y de drenaje excesivo. Incluye suelos de textura superficial franco arenosa muy fina. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: IVs0

Clase de Drenaje: 6

Categoría de Riego: 4s

Aptitud Frutal: E

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 4

CHR-7 VI: Corresponde a la Fase de textura superficial franco arenosa, delgada, plana, con abundante pedregosidad y de drenaje excesivo. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: Vis0

Clase de Drenaje: 6 Categoría de Riego: 6

Aptitud Frutal: E

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 6

2.7.2 CTR - Serie Cristo Redentor, franco arcillo limoso:

La Serie Cristo Redentor, es un miembro de la Familia franca fina, mixta, térmica, *Mollisol*.

Suelo sedimentario, moderadamente profundo, estratificado, en posición de piedmont. De textura superficial franco arcillo limosa y de color pardo oscuro; de textura franco arenosa y color pardo amarillento oscuro en profundidad. Descansa sobre un sustrajo constituido por gravas y gravillas angulares con matriz areno - franco gruesa. Suelo de topografía moderadamente inclinada con pendiente de 3 a 8%, de permeabilidad moderada en la superficie y moderadamente rápida en profundidad. Presenta gravilla fina y media en todo el perfil y en la superficie. Cristales de cuarzo y feldespatos abundantes en profundidad.

Características Físicas y Morfológicas del Perfil

Profundidad (cm.)

0 - 18 A ₁	Pardo oscuro en húmedo y pardo en seco; franco arcillo limosa; plástico y adhesivo; friable en húmedo y duro en seco; estructura de bloques subangulares medios, moderados, que se parten en bloques subangulares finos y muy finos, moderados Raíces finas y medias, abundantes; poros finos, medios y gruesos abundantes; actividad biológica moderada. Gravilla fina y media común y grava angular escasa. Límite ondulado claro.
18 - 38 B	Pardo grisáceo muy oscuro en húmedo; franca; plástico y adhesivo; friable en húmedo; estructura de bloques subangulares finos, débiles. Raíces finas comunes; poros finos medios y gruesos abundantes; actividad biológica abundante. Gravilla abundante y media escasa. Grava angular escasa. Límite ondulado, abrupto.
38 - 85 2C	Estrata de grava y gravilla angular de diferente naturaleza petrográfica, con dominancia de rocas eruptivas neutras y básicas (andesita y basalto), con matriz franco arcillo arenosa gruesa que constituye el 20 a 30% del volumen de la estrata y que permite el desarrollo radicular en profundidad. Límite ondulado, abrupto.
85 - 105 3B	Pardo amarillento oscuro en húmedo; franco arenosa; no plástico y no adhesivo; friable en húmedo y suelto en seco; estructura maciza. Raíces finas muy escasas; poros finos y medios abundantes; no se observa actividad biológica. Cristales de cuarzo y feldespatos abundantes. Límite ondulado, abrupto.
105 - 120 y más 4C	Estratas de grava y gravilla angular, matiz areno francosa gruesa, pardo amarillento oscuro en húmedo, que constituye entre el 5 a 10% del volumen de la estrata.

Observaciones

Suelo estratificado, con estrata de gravas lo que determina un a menor profundidad efectiva del perfil.

Rango de Variaciones

La profundidad efectiva varía entre 35 y 75 cm. Descansa sobre substrato coluvial constituido por gravas angulares de diversos tamaños y composición petrográfica mixta. La matriz tiene una textura areno francosa a franco arenosa; de color pardo amarillento a pardo en el matiz 10 YR que constituye entre el 5 al 15% del volumen del substrato. Presenta clastos angulares en todo el perfil de escasos a abundantes. La pedregosidad superficial varía de ligera a muy abundante. La topografía determina una pendiente que varía entre 3 a 10%.

En el primer horizonte sólo la textura varía de franco arcillosa a franco arcillo limosa y el color varía de pardo a pardo grisáceo muy oscuro. La estructura de bloques subangulares finos a medios, moderados a débiles. La gravilla de común a abundante y la grava de escasa a común.

En el segundo horizonte la textura varía entre franco arcillosa a franco arcillo arenosa y el color de pardo grisáceo muy oscuro a pardo oscuro. Gravilla de común a abundante y la grava de escasa a común.

El tercer horizonte está constituido por grava y gravilla, el espesor varía entre 10 y 50 cm. y ocasionalmente puede faltar. La matriz de esta estrata presenta texturas que varían entre franco arcillo arenosa a areno francosa.

En el cuarto horizonte la textura varía entre franca a franca arenosa fina y el color varía de pardo oscuro a pardo amarillento. Ocasionalmente puede presentar texturas arcillo arenosa con abundante pedregosidad. Grava y gravilla angular de moderada a muy abundante.

Posición

Esta serie ocupa una posición de piedmont y con diversos grados de pendiente.

Variaciones de la Serie Cristo Redentor.

CTR- 3 IIIs: Corresponde a la Fase de textura superficial franco arcillo limosa, ligeramente profunda, suavemente ondulada con 5 a 8% de pendiente, moderada pedregosidad y bien drenada. Incluye sectores con pedregosidad abundante. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: IIIs0

Clase de Drenaje: 5

Categoría de Riego: 2t

Aptitud Frutal: C

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 3

2.7.3 CLG - Serie Calle Larga, franco arcillo arenoso:

La Serie Calle Larga, es un miembro de la Familia mixta, fina, térmica, **Mollisol**.

Suelo sedimentario, profundo, estratificado, en posición de piedmont. De textura franco arcillo arenosa y color pardo; de textura arcillosa y de color pardo rojizo en profundidad. Descansa sobre un substrato coluvial constituido por clastos angulares de composición petrográfica mixta con predominio de rocas andesíticas con diversos grados de meteorización. Suelo de topografía de plano inclinado a suavemente ondulado y con ligera pedregosidad tanto en la superficie como en el perfil, bien drenado y permeabilidad lenta a moderadamente lenta.

Características Físicas y Morfológicas del Pedón

Profundidad (cm.)

0 - 15 Ap	Pardo oscuro en húmedo; franco arenosa; plástico y adhesivo; friable en húmedo y duro en seco; estructura de bloques subangulares medios, débiles, que se parten en granular media, moderada. Raíces finas y medias abundantes; poros finos y medios, abundantes; actividad biológica común. Gravilla angular andesítica común. Límite lineal, claro.
15 - 34 B _{ti}	Pardo rojizo oscuro en húmedo; franco arcillosa; muy plástico y muy adhesivo; firme en húmedo y muy duro en seco; estructura de bloques subangulares medios, fuertes. Raíces finas y medias, abundantes; poros finos y medios abundantes y gruesos comunes; actividad biológica común. Gravilla y grava angular de naturaleza petrográfica andesítica común y gravilla fina meteorizada común. Cristales de cuarzo escasos. Límite ondulado, claro.
34 - 63 B _{tz}	Pardo rojizo oscuro en húmedo; arcillosa; muy plástico y muy adhesivo; firme en húmedo; estructura prismática media, débil, que se parte en bloques subangulares medios, moderados. Raíces finas y medias, comunes; poros finos y medios escasos y gruesos abundantes; actividad biológica escasa. Grava y gravilla angular común y grava meteorizada común. Límite lineal, abrupto.
63 - 80 y más C	Substrato constituido principalmente por rocas andesíticas, muy meteorizadas, con matriz arcillosa de color pardo rojizo oscuro que constituye entre el 15 y 25% del volumen de la estrata y que permite el arraigamiento en profundidad.

Observaciones:

Presenta ligera pedregosidad y grietas de 1 a 2 cm. de ancho y de 20 a 40 cm. de profundidad.

Rango de Variaciones

La profundidad efectiva varía entre 30 y 110 cm. Descansa sobre un substrato coluvial, constituido por gravas angulares de composición mixta con predominio de rocas eruptivas neutras (andesítica) y con diversos grados de meteorización o libre de ella. La matriz presenta texturas que varían de arcillosa a franco arcillo arenosa. Presenta clastos angulares comunes a escasos en todo el perfil y la topografía de 1 a 15% de pendiente, siendo la dominante entre 3 y 8%.

El primer horizonte presenta dos texturas, siendo dominante la franco arcillo arenosa y la arcillosa. El color varía de pardo oscuro a pardo rojizo. La pedregosidad varía de ligera a moderada, la estructura varia de granular media a bloques subangulares medios y finos moderados.

En el segundo horizonte la textura varía de arcillosa a franco arcillo arenosa, siendo dominante la primera. El color varía de pardo rojizo oscuro a pardo. La pedregosidad varía de ligera a abundante.

En el tercer horizonte la textura varía de arcillosa a franco arenosa. El color varía de pardo rojizo oscuro a pardo rojizo. Gravilla abundante a moderada y gravas de ligeras a abundantes. La estructura varía de prismática a bloques angulares y subangulares medios y gruesos de fuertes a muy fuertes.

Posición

Ocupa una posición de piedmont y está ampliamente distribuida en toda la cuenca.

CLG- 2 IIs: Corresponde a la fase de textura superficial franco arcillo arenosa, moderadamente profunda, suavemente inclinada con 2 a 3% de pendiente y bien drenada. Incluye suelos con ligera pedregosidad. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: IIs5

Clase de Drenaje: 5 Categoría de Riego: 2t

Aptitud Frutal: E

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 2

CLG- 5 IIIs: Representa a la serie y corresponde a suelos de textura superficial franco arcillo arenosa, moderadamente profundos, moderadamente inclinados con 3 a 8% de pendiente, bien drenados y con ligera pedregosidad. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: IIIs5

Clase de Drenaje: 5

Categoría de Riego: 2t

Aptitud Frutal: C

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 3

CLG- 6 IIIs: Corresponde a la fase de textura superficial franco arcillo arenosa, ligeramente profunda, moderadamente inclinada con 3 a 8% de pendiente, bien drenados y con moderada pedregosidad. Incluye sectores con abundante pedregosidad. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: IIIs5

Clase de Drenaje: 5 Categoría de Riego: 3t

Aptitud Frutal: C

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 3

CLG- 9 VIs: Corresponde a la Fase textural superficial franco arcillo arenosa, ligeramente profunda, fuertemente inclinada con 8 a 15% de pendiente, bien drenada y con abundante pedregosidad. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: IVs5

Clase de Drenaje: 5

Categoría de Riego: 4t

Aptitud Frutal: D

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 4

CLG- 10 VIe: Corresponde a la Fase de textura superficial franco arcillo arenosa, delgada, fuertemente inclinada con 8 a 15% de pendiente, bien drenada y con abundante pedregosidad. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: VIe1

Clase de Drenaje: 5

Categoría de Riego: 6

Aptitud Frutal: E

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 6

2.7.4 PTD - Serie Putaendo, franco arcillo arenoso:

La Serie Calle Larga, es un miembro de la Familia franca fina sobre arenosa esquelética, mixta, térmica, **Mollisol**.

Suelo de origen aluvial, delgado; de textura superficial franco limosa y color pardo oscuro; textura franca a franco arcillo limosa y color pardo oscuro en profundidad. Yace sobre un substrato aluvial constituido por gravas redondeadas de composición petrográfica mixta. Suelo de topografía plana y suavemente ondulada, pedregosidad moderada tanto en la superficie como en el perfil. Presenta permeabilidad moderada y buen drenaje.

Características Físicas y Morfológicas del Pedón

Profundidad (cm.)

0 - 13 A ₁	Pardo oscuro en húmedo; franco limosa, ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; friable en húmedo; estructura de bloques subangulares medios, débiles. Raíces finas y medias abundantes; poros finos y medios, abundantes, actividad biológica común. Gravitas redondeadas escasas. Límite ondulado, claro.
13 - 34 B	Pardo oscuro en húmedo; franca a franco arcillo limosa; plástico y adhesivo; estructura de bloques subangulares medios y finos, débiles. Raíces finas abundantes y medias escasas; poros finos, medios y gruesos, abundantes; actividad biológica abundante. Gravilla común y grava escasa. Cristales de cuarzo y mica negra escasos. Límite ondulado, abrupto.
34 - 80 y más C	Substrato aluvial constituido por clastos redondeados de composición petrográfica mixta con predominio de rocas eruptivas neutras (andesitas). Los primeros 20 cm. de este estrato presentan una matriz franco arenosa gruesa, que constituye entre el 5 a 10% del volumen y que permite el desarrollo radicular. El siguiente substrato lo constituyen clastos más grandes (bolones) con una matriz de arena gruesa (lavada) en la cual no se desarrollan raíces.

Rango de Variaciones

La profundidad efectiva de esta Serie varía entre 30 y 50 cm. con un substrato constituido por gravas y bolones con una matriz pobre y una pedregosidad de ligera a abundante. Suelo de topografía plana a suavemente ondulada y bien drenado.

En el primer horizonte la textura varía de franco limosa a franco arenosa fina y el color tanto en superficie como en profundidad es pardo oscuro. La pedregosidad varía de escasa a común.

En el segundo horizonte la textura varía de franca a franco arcillo limosa y el color oscuro en toda la sección. La pedregosidad varía de escasa a común.

Variaciones de la Serie Putaendo

PTD- 1 IIIs: Representa a la Serie y corresponde a suelos de textura superficial franco limosa, delgados, planos, bien drenados y con moderada pedregosidad. Incluye sectores con ligera pedregosidad. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: IIIs0

Clase de Drenaje: 5

Categoría de Riego: 3s

Aptitud Frutal: C

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 3

PTD- 2 IIIs: Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, ligeramente profunda, plana, bien drenada y con ligera pedregosidad. Incluye sectores con textura superficial franco arenosa fina. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: IIIs0

Clase de Drenaje: 5

Categoría de Riego: 2s

Aptitud Frutal: B

Erosión: 0

Aptitud Agrícola: 3

PTD- 3 IIIs: Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, ligeramente profunda, casi plana con 1 a 3% de pendiente, bien drenada y con moderada pedregosidad. Incluye sectores de textura superficial franco arenosa fina. Se clasifica en:

Capacidad de Uso: IIIs0

Clase de Drenaje: 5

Categoría de Riego: 3s

Aptitud Frutal: C

Erosión: 0

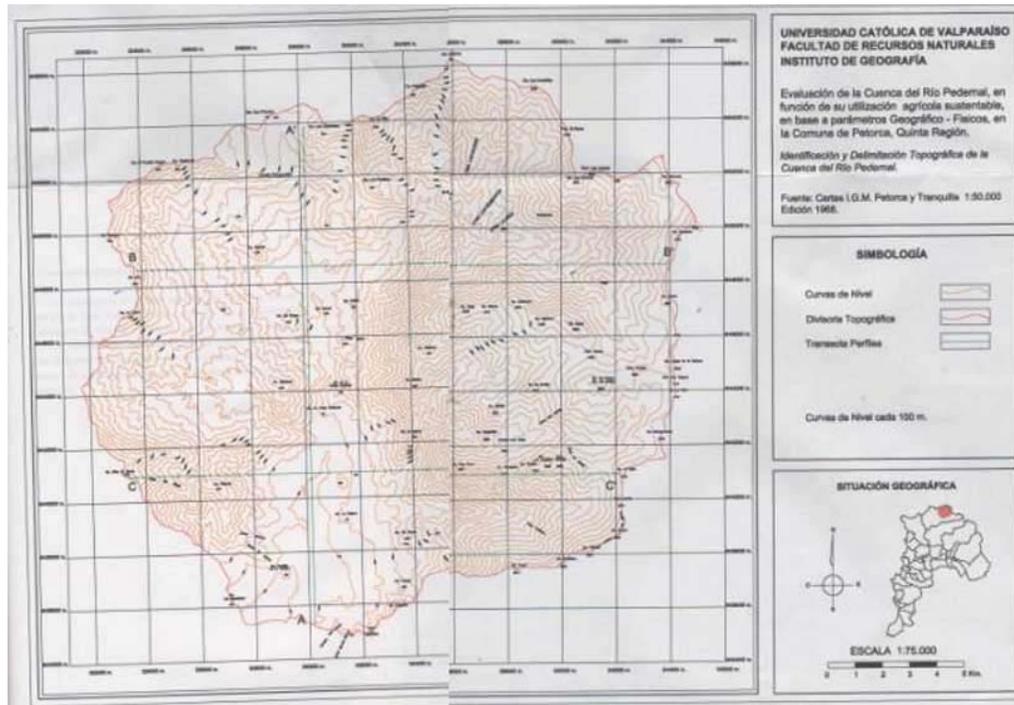
Aptitud Agrícola: 3

CAPÍTULO III TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE COBERTURAS ESPACIALES DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS.

3.1 Cartografía de Identificación y Delimitación Topográfica del Área de Estudio.

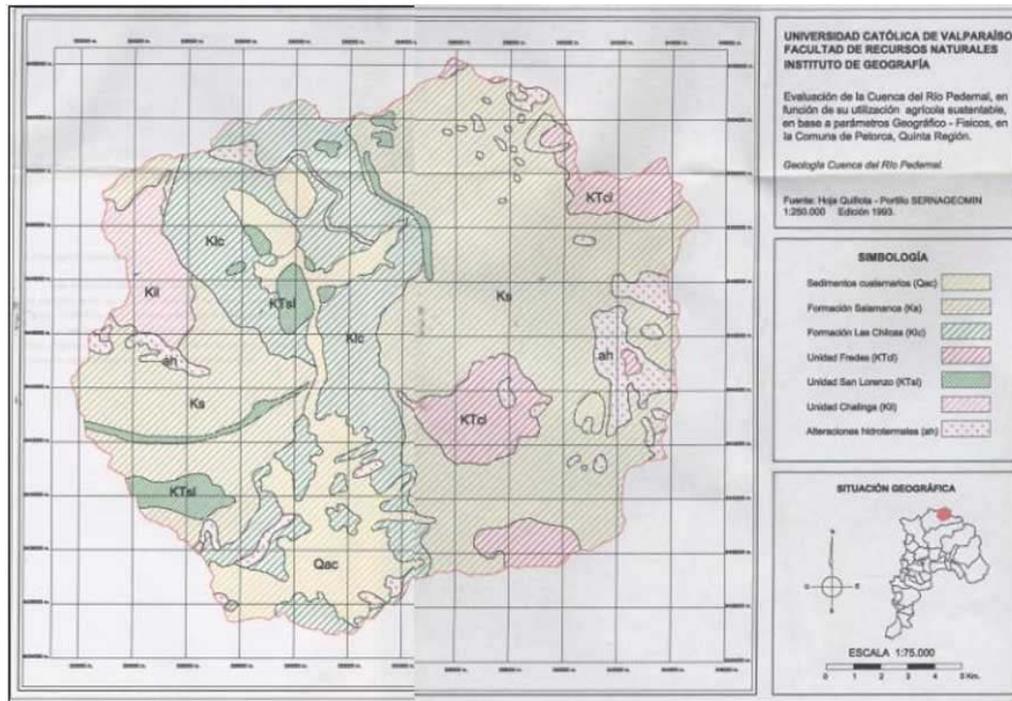
Esta cartografía es la expresión espacial básica, para el tratamiento del área de estudio a nivel de unidad hidrográfica independiente. Este documento proviene de un formato digital georreferenciado, características que permiten un mejor y más preciso trabajo con las diferentes coberturas cartográficas, generadas a partir del presente estudio.

Para componer la cartografía digital, se ocuparon las cartas I.G.M. Petorca y Tranquilla, editadas en 1968, acotando sólo la información referida a la cuenca, finalmente impresa a escala 1:75.000. Aparte de las curvas de nivel cada 100 m. y la línea divisoria que determina la cuenca, se expresa la disposición de las transectas ocupadas para determinar los perfiles topográficos, utilizados en los análisis geomorfológicos.



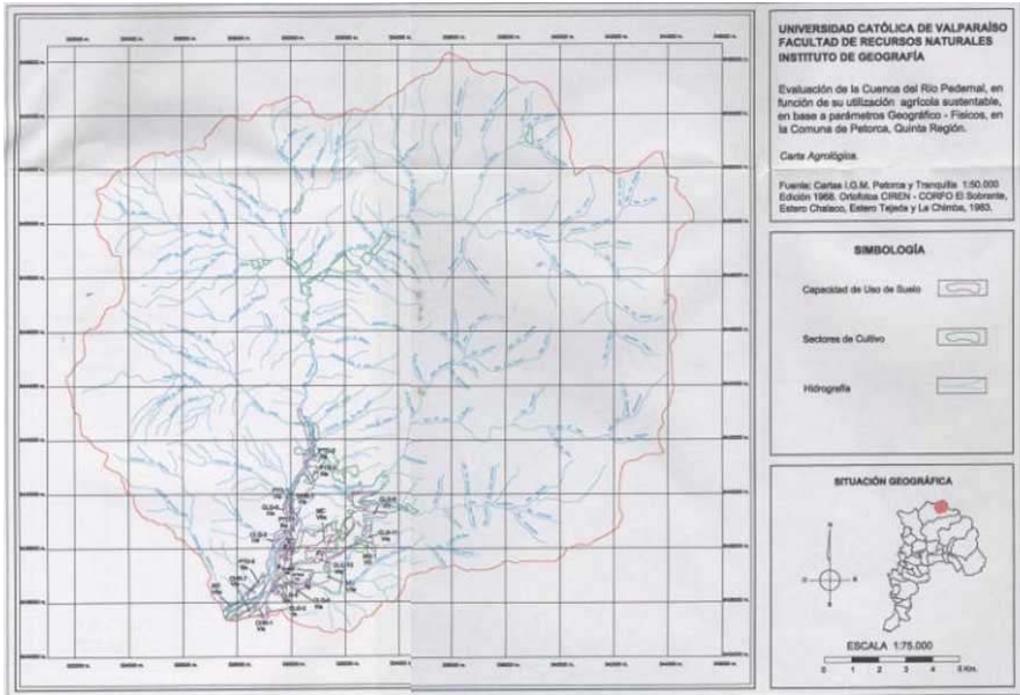
3.2 Cartografía Geológica.

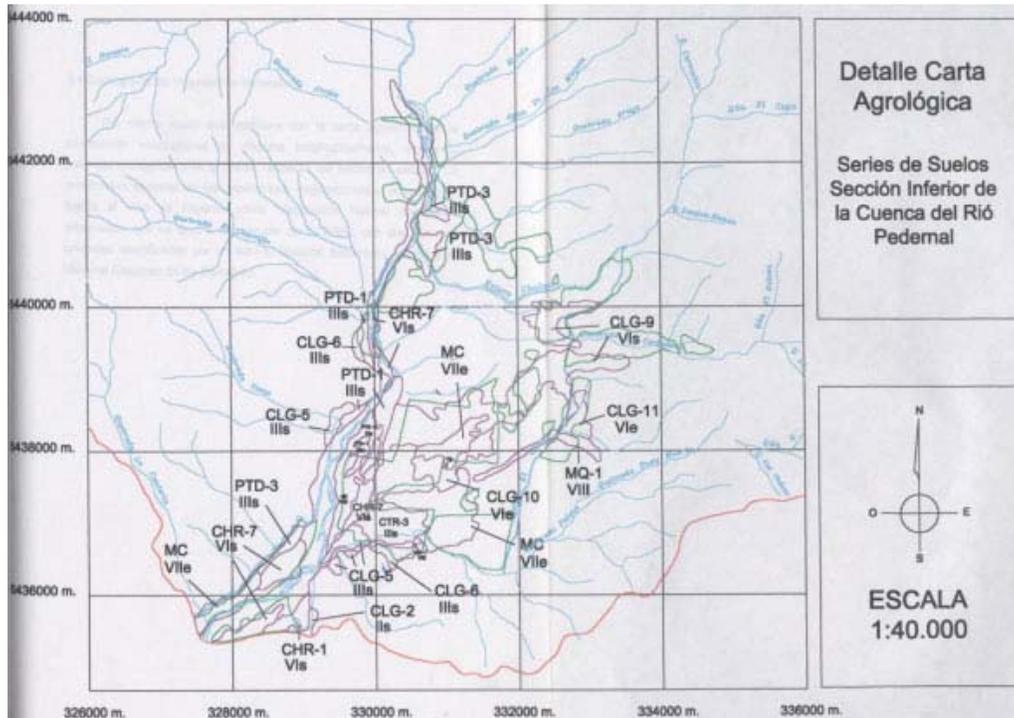
La composición de la carta geológica del sector, se generó a partir de la Hoja Quillota – Portillo 1:250.000 del SERNAGEOMIN, digitalizando el área de estudio, la cual se imprimió a escala de 1:75.000. La información contenida en este documento hace referencia a las diferentes unidades y formaciones geológicas, así como a los sectores de alteración hidrotermal y a las áreas de sedimentación cuaternaria.



3.3 Cartografía Agrológica.

Este documento cartográfico, compila la información referida a las capacidades de uso de suelo, obtenidas del estudio agrológico de CIREN – CORFO de 1997, complementado con la información espacial entregada por las Ortofotos 1:20.000, El Sobrante, Estero Chalaco, Estero Tejada y La Chimba. Adicionalmente en la carta 1:75.000, se incorporan las coberturas de uso agrícola y la red de drenaje.



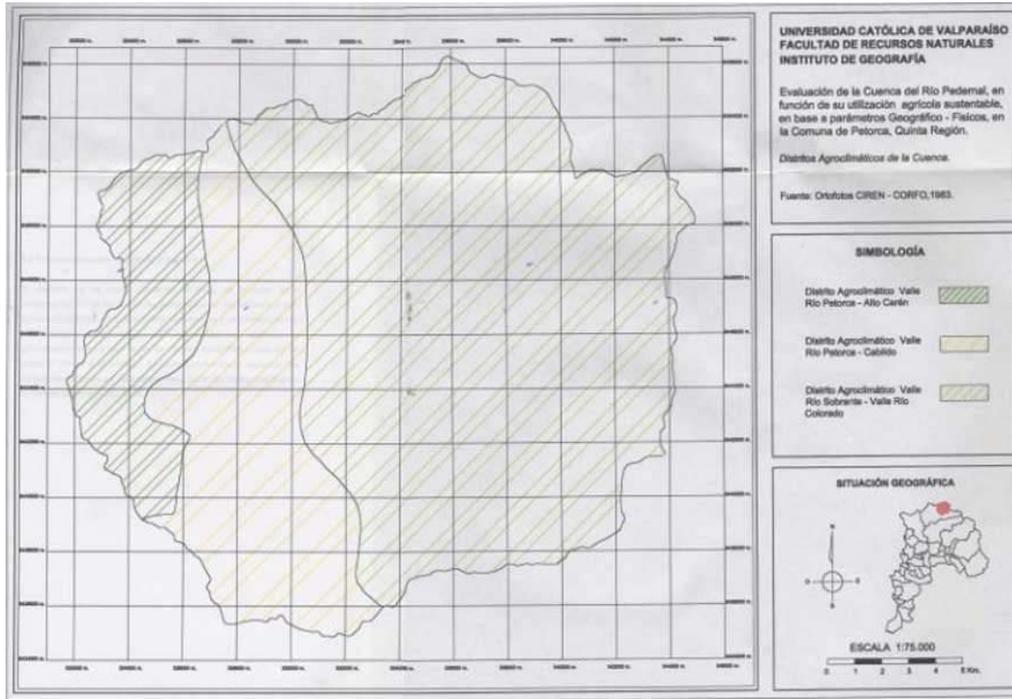


3.4 Cartografía de Vegetación Natural.

Del mismo modo que acontece con la carta agroclimática, la información vegetal se dispone longitudinalmente, siguiendo patrones ecológicos más globales, respecto del sector en estudio. La distribución espacial de las condiciones vegetacionales, tienen como fuente el libro de Gajardo sobre “Vegetación Natural de Chile”, información que se llevó a una escala de 1:75.000, con dos grandes unidades identificadas por un lado el Matorral Esclerófilo Andino y el Matorral Espinoso de las Serranías.

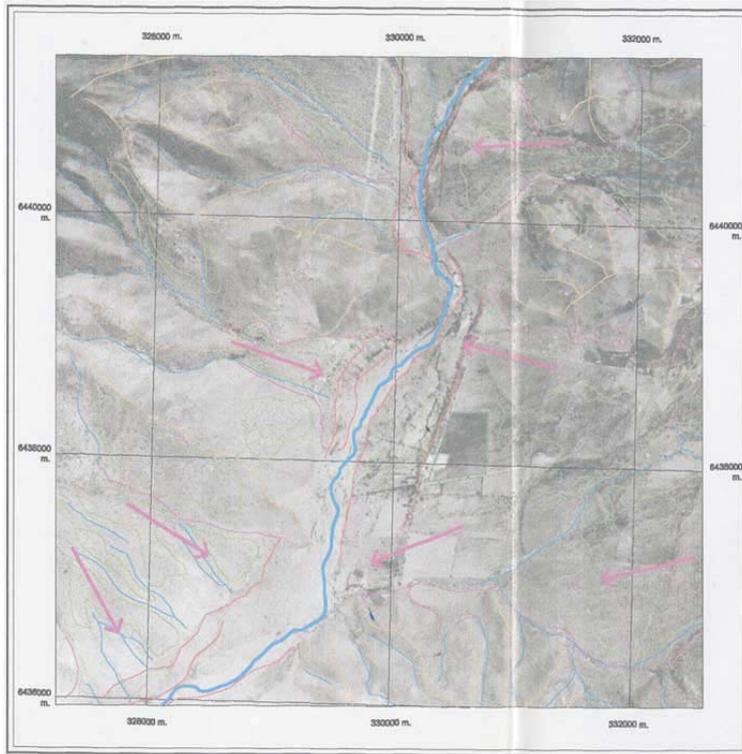
3.5 Cartografía de Distritos Agroclimáticos.

Esta cartografía a escala 1:75.000, indica espacialmente los distritos agroclimáticos que los estudios de CIREN – CORFO ha determinado en el sector en estudio, al igual que en casi todo el material cartográfico expuesto, se ha debido adaptar la información existente, para poder hacer puntuales la coberturas temáticas, acotándolas a la estructura de la cuenca del Pedernal. Cabe mencionar que los distritos agroclimáticos “Valle Río Petorca – Alto Carén”, “Valle Río Petorca – Cabildo” y “Valle Río Sobrante. Valle Río Colorado”; que conforman la totalidad de la información climática de la cuenca, no sólo tienen influencia sobre el área de estudio, sino básicamente están distribuidos de manera longitudinal, extendiéndose sus márgenes tanto hacia el norte como hacia el sur de la cuenca.



3.6 Fotointerpretación del eje de la Cuenca.

El resultado de las cuatro siguientes ortofotos, es producto de la fotointerpretación de los procesos geomorfológicos, identificados a partir de 6 pares fotográficos, los cuales fueron digitalizados y georreferenciados, para luego superponerlos en las imágenes digitales y georreferenciadas, es decir sobre las mismas fotografías aéreas de las cuales se obtuvo la información. En estos documentos se explicitan dos tópicos morfológicos de relevancia, tales como los conos detríticos y niveles de aterramiento fluvial.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
 INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

Evaluación de la Cuenca del Río Pedernel, en función de su utilización agrícola sustentable, en base parámetros Geográficos - Fisicos, en la Comuna de Putorco, Quinta Región.

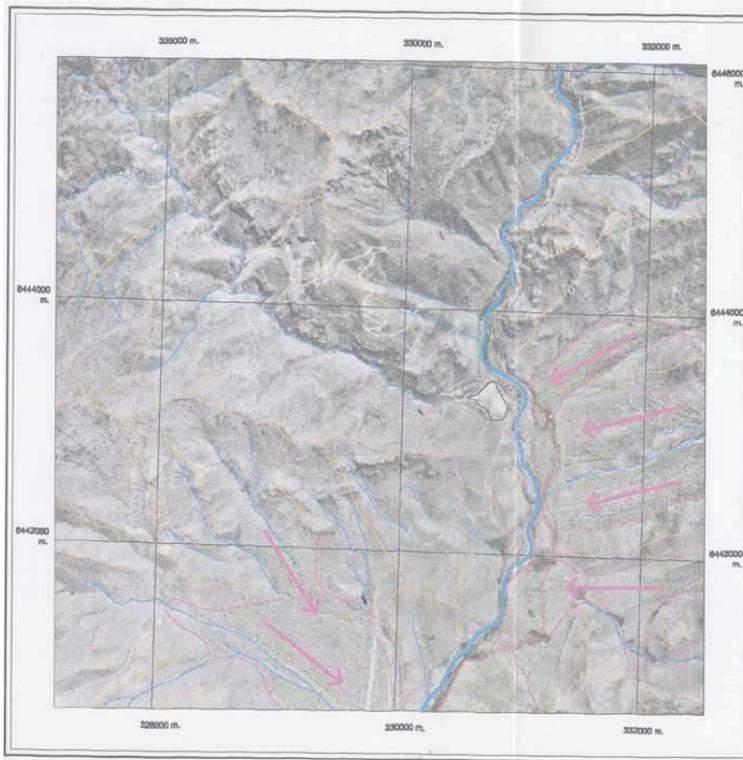
Fotointerpretación de Procesos Geomorfológicos en el Eje del Río Pedernel.
 Curso Nº 7

Fuente: Base Fotográfica SAF 1:25.000, vuelo 1885
 Fotografía Aérea Sector 8, Nº 681128

SIMBOLOGÍA

Conos Delíticos	
Curvas Topográficas	
Eje del Río	
Niveles de Terraza	
Quebradas	
Vegetación	





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
 INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

Evaluación de la Cuenca del Río Pedernat, en función de su utilización agrícola sustentable, en base parámetros Geográficos - Físicos, en la Comuna de Pedernales, Quinta Región.

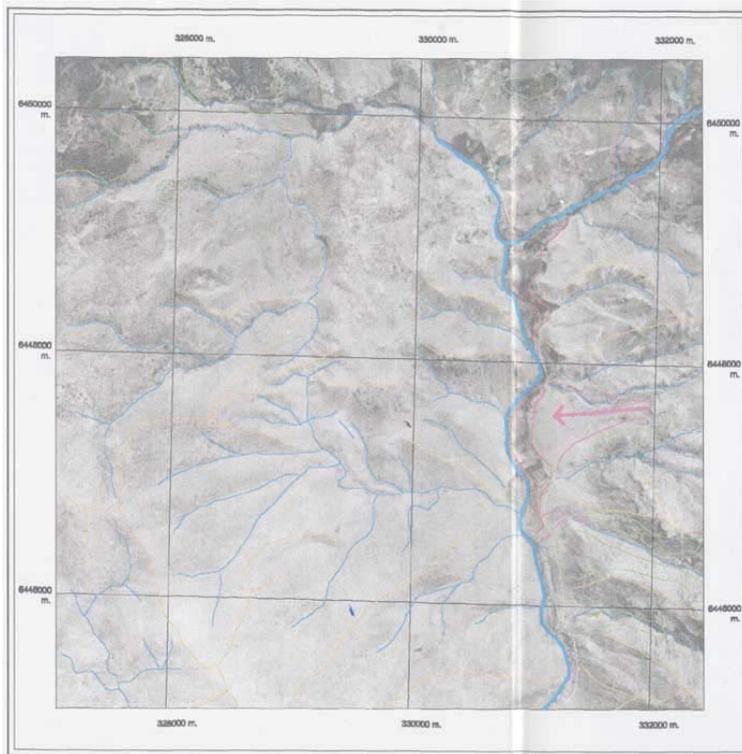
Fotointerpretación de Presencia Geomorfológica en el Eje del Río Pedernat.
 Carta N° 2

Fuente: Base Fotográfica BAF 1:25.000, junio 1988
 Fotografía Aérea Sector 8, N° 881122

SIMBOLOGÍA

Conos Deléfticos	
Divisorio Topográfico	
Eje del Río	
Niveles de Tarsza	
Quebradas	
Vegetación	





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
 INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

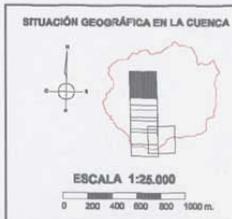
Evaluación de la Cuenca del Río Pedernál, en función de su utilización agrícola sustentable, en base parámetros Geográficos - Físicos, en la Comuna de Petorca, Quinta Región.

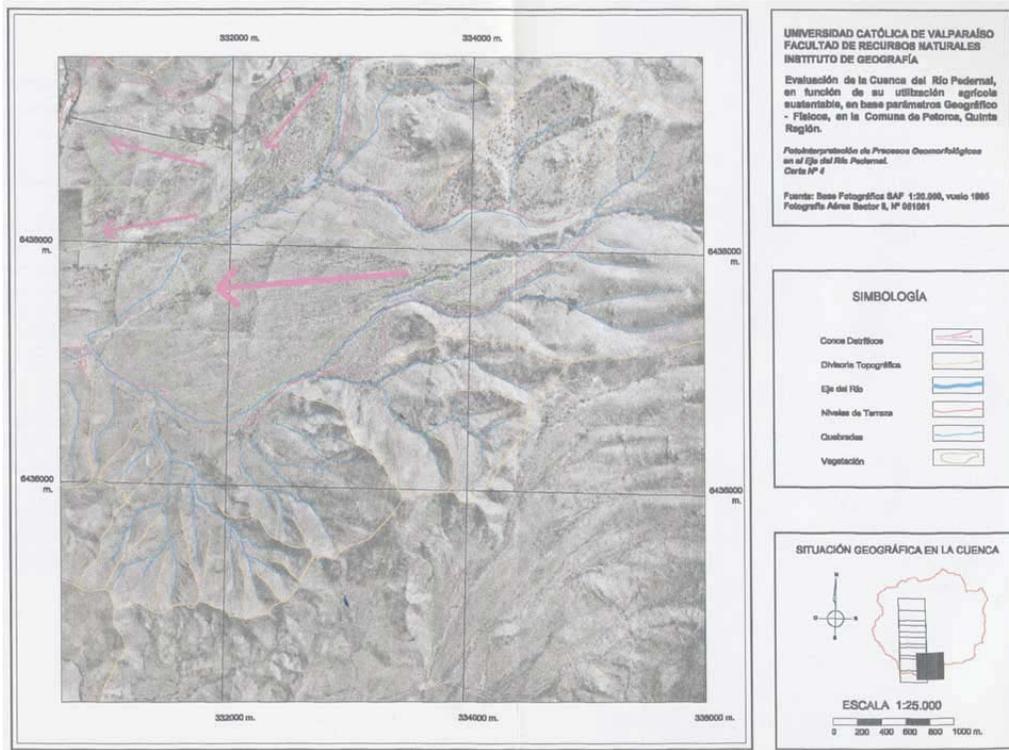
Fotointerpretación de Procesos Geomorfológicos en el Eje del Río Pedernál.
 Carta Nº 3

Fuente: Base Fotográfica SAP 1:25.000, vuelo 1988
 Fotografía Aérea Sector II, IP 051134

SIMBOLOGÍA

Conos Delticos	
Divisorio Topográficos	
Eje del Río	
Niveles de Terraza	
Quimbres	
Vegetación	





CAPÍTULO IV INCORPORACIÓN DE INFORMACIÓN Y DATOS ADQUIRIDOS EN TERRENO.

4.1 Observaciones Generales del Área de Estudio en Terreno.

Junto con el sector de El Sobrante, la Cuenca del Pedernal es el área más oriental de la Comuna de Petorca, la población se encuentra muy dispersa, pero concentrada en los sectores del Valle de los Olmos, al sur de la cuenca, el sector de El Chalaco en la ribera oriental, Calle Larga en la ribera occidental y el sector de Pedernal en la sección norte de la cuenca. Hasta el Valle de los Olmos el camino está asfaltado, lo que nos indica que en el área de estudio sólo existen caminos de ripio y tierra, para atravesar los esteros sólo existen badenes, que al aumentar las precipitaciones se ven sobrepasados por la esorrentía de las quebradas y esteros. Debido a la dispersión de la población el acceso a servicios básicos como alcantarillado, agua potable y electricidad es deficiente.

El sector de la cuenca que presenta mayor concentración de actividades y servicios es el Valle de los Olmos, ya que cuenta con una mejor conexión con el resto de la Comuna, y el acceso a servicios educacionales, de salud, religiosos, etc.

4.2 Análisis de las entrevistas a residentes de la Cuenca del Pedernal.

Con el fin de comprender cabalmente el estado y utilización económica de la cuenca, sobre todo del sector de Chalaco, se efectuaron entrevistas a personas residentes, las que mayoritariamente manifestaron las precarias condiciones de fuentes laborales, situación asociada al decaimiento de las actividades agropecuarias y mineras. Dentro de las actividades agrícolas existen dos elementos que indican el decaimiento del sector, por un lado está la sequía y por otro lado están los productos que se comercializan, que tradicionalmente han sido el trigo y las hortalizas, sumado el bajo precio de estos productos y lo mucho que cuesta producirlos debido a la escasez de agua, la situación se hace insostenible y la búsqueda de opciones de trabajo en otros lugares se hace cada vez más clara. En estas condiciones la actividad pecuaria caprina, es prácticamente la una instancia de arraigo al lugar que va quedando, ya que posibilita la venta de queso y leche de cabra, ya sea esta con o sin permiso del Servicio Nacional de Salud.

Otra actividad que en algún momento fue el soporte complementario del sector y la Comuna, es la extracción minera sobre todo metálica, más bien cúprica y en menor grado aurífera, esta actividad desarrollada como pequeña minería ha ido en decadencia, debido al agotamiento de las vetas metalíferas, lo que ha atentado con la figura del pirquinero, y consigo la posibilidad de una entrada económica alternativa a la actividad agropecuaria.

En la localidad de El Chalaco, INDAP ha promovido la creación de una sociedad de pequeños agricultores, donde la modalidad de operación es que los agricultores aportan sus recursos de suelo y agua, el cual se valoriza, y un

empresario incorpora un capital de igual monto, más la dirección empresarial y la gestión comercial. El resultado de esto es que se han tecnificado con riego 100 Hás. de cultivos entre Naranjas, Limones, Nogales y Frambuesas, dando posibilidades de trabajo a 25 jóvenes aproximadamente.

4.3 Observaciones Morfológicas e Hidrológicas de Terreno.

Las observaciones de terreno, fueron llevadas a cabo en a partir de sucesivas visitas y trabajo de campo, donde se tomaron muestras pétreas, se trabajó con GPS, cartografía, brújula, prismáticos y cámara fotográfica, con el fin de obtener información *in situ* y así verificar la situación del área de estudio con mayor detalle. A continuación se presentan los documentos fotográficos, que dan cuenta de los elementos más relevantes, en torno a los factores que condicionan la dinámica de la Cuenca, dentro de los cuales destacan las condiciones hidrográficas, geomorfológicas y vegetacionales.

Foto 1. Vista del Valle de los Olmos, en el sector de confluencia de los ríos El Sobrante que circula de este a oeste y el río Pedernal que fluye de norte a sur, este sector presenta las mejores capacidades de uso de suelo, además se desarrollan cultivos hortofrutícolas en pequeños predios. En este sector es posible encontrar la napa freática a poca profundidad, encontrándose también un mejor desarrollo del sistema de canalización, tanto en disponibilidad del recurso hídrico como su distribución. Dirección Sudoeste

Foto 2. Esta imagen muestra parte del valle del Estero Chalaco que confluye desde el este hacia el eje principal de la cuenca, sus suelos presentan una alta pedregosidad y la vegetación está compuesta principalmente por espinos (*Acacia Caven*), como se observa en este predio no se realizan actividades agrícolas, pero podría llevarse a cabo actividades de preparación del suelo, conducentes al cultivo de frutales como olivos, almendros o nogales, aplicando riego por goteo. Dirección Este

Fotos 3 y 4. Escurrimiento superficial en el eje principal la cuenca del río Pedernal, este sector corresponde a la confluencia con el estero Chalaco, presenta en el fondo gran cantidad de rodados, aquí se produce una alta infiltración. Dirección Foto 3 Oeste, Foto 4 Sudoeste.

Foto 5. Esta imagen corresponde al sector de Chalaco, donde se observa parte del valle del río Pedernal, sobre los conos de deyección que interceptan con los sedimentos de las terrazas fluviales, se localizan los predios de uso agropecuario utilizados preferentemente para cultivos de secano y hacia el piedmont el pastoreo caprino es lo que predomina. Dirección Sudoeste.

Foto 6. El primer plano de esta fotografía, deja en evidencia la presencia de erosión asociada a la formación de cárcavas, sectores que no son ocupados para la actividad agrícola, sino que son los espacios destinados a la crianza del

ganado caprino, el cual es muy voraz sobretodo si le sumamos la semiaridez del sector, este tipo de erosión incipiente se manifiesta en el sector piemontano del valle del Chalaco. Dirección Este

Foto 7. Sistema de canalización en la parte media de la Cuenca, frente a la mina La Dulcinea, forma de distribución que tiene como fin el riego por surcos para el cultivo de hortalizas, este canal se abastece de los aportes de la Quebrada Honda, el cual en períodos normales puede llegar a tener un caudal de 300 l/s., esta canalización pasa por una cota 20 m. más alta que el curso principal del río Pedernal, además de los aportes hídricos de la red de cursos intermitentes del sector, existen diversas vertientes que alimentan esta obra de riego.

Foto 8. En la fotografía se observa el lecho del río Pedernal en su curso medio, en este sector el valle comienza a encajonarse hacia el norte, desaparecen los sedimentos cuaternarios para dar paso a las formaciones volcánicas de Las Chilcas y Salamanca, en el fondo del lecho se pueden ver bloques y clastos conglomerádicos.

Foto 9. Bloque correspondiente a la Formación Las Chilcas, estos conglomerados se disponen a manera de acantilados que estrechan el curso medio del río Pedernal, estas rocas presentan reiteradamente erosión eólica en forma de taffonis. Dirección Este.

Foto 10. Imagen de la estructura abandonada de la Mina La Dulcinea, se puede observar el depósito del relave minero, el cual está aledaño al curso del río, gracias a este depósito abandonado, se podría deducir que el agua que entra en contacto con este depósito, presenta algún nivel de contaminación por metales pesados, el botadero de escoria mineral se localiza en la salida de la quebrada Arcita. Dirección Sur.

Foto 11. Sector correspondiente a la quebrada de La Quema, donde se realizan actividades agrícolas relacionadas con cultivos hortícolas estacionales, estos suelos son generados por los aportes de falda y están ubicados en la primera terraza fluvial. Dirección Noroeste.

Foto 12. En esta fotografía es posible apreciar el lecho del río Pedernal en el sector de confluencia con el Estero La Tejada, la “baldosa” pétreo, se explica por la presencia de la Unidad San Lorenzo, basamento que implica bajos niveles de infiltración en esta área debido a la impermeabilidad de la roca. Dirección Norte.

Foto 1.



Foto 2.



Foto3.



Foto 4.



Foto 5.



Foto 6.



Foto 7.



Foto 8.



Foto 9.



Foto 10.



Foto 11.



Foto 12.



CAPÍTULO V ELEMENTOS DE CONSERVACIÓN, MANEJO Y DESARROLLO AGRÍCOLA SUSTENTABLE, APLICABLES AL ÁREA DE ESTUDIO.

5.1 Fundamentos geográficos para el uso y manejo ambientalmente sostenible, en la Cuenca del Río Pedernal.

Al asumir como área de estudio una Cuenca Hidrográfica, se toma como base la dinámica del ciclo hidrológico, el cual modela las diferentes formas y vías por donde el agua circula y se transforma en la naturaleza, este ciclo no tiene principio ni fin. Las precipitaciones pueden ser interceptadas y transpiradas o evaporadas por las plantas, escurrir sobre la superficie del suelo y cursos de agua o ser infiltrada por el suelo. Una buena parte del agua interceptada por las plantas y la escorrentía superficial puede retornar a la atmósfera por evaporación. El agua infiltrada en el suelo puede almacenarse en la zona de las raíces o penetrar para ser almacenada como agua subterránea, la que puede aflorar nuevamente a la superficie en forma de vertientes o llegar a alimentar cursos de agua. Cuando precipita sobre la tierra el agua puede seguir una o más rutas como evaporarse mientras cae, evaporarse desde las plantas o desde la superficie del suelo, se puede infiltrar y almacenar en las zonas

radiculares, infiltrarse y percolar al subsuelo y/o drenes o transpirar por medio de la vegetación natural o los cultivos.

La estrategia de conservación debe buscar la forma de infiltrar el agua en el suelo, para ser utilizada por los cultivos, disminuyendo al mismo tiempo la escorrentía superficial y su potencial erosivo. El agua aportada por las precipitaciones, presenta una gran limitante respecto de su aprovechamiento productivo y uso doméstico, ya que el patrón de distribución varía en el tiempo y en el espacio, además los volúmenes de precipitación, evaporación, escorrentía y otros parámetros hidrológicos no están distribuidos en forma equitativa geográficamente en la tierra, ni tampoco en el transcurso del año. Si se asegura una buena infiltración y retención del agua en el suelo, los cultivos pueden sobrevivir períodos cortos de ausencia de precipitación, dado esta capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, se podrían satisfacer las necesidades de aporte hídrico, en los cultivos por períodos de unas pocas semanas y hasta algo más de un mes.

Para poder lograr un desarrollo sostenible en torno a los recursos suelo y agua, insumos básicos de la actividad agrícola, se trata de detener la degradación de estos recursos naturales, a partir del enfoque de cuenca, el no se limita sólo a las tierras agrícolas sino que cubre toda el área de la cuenca, desde los sectores más altos, en la divisoria de aguas, hasta la salida del desagüe natural. Esta forma de ver el espacio implica la implementación de medidas conservacionistas en las pendientes más altas, las tierras marginales, las tierras de uso agrícola, en quebradas y cárcavas.

Si se adopta a la cuenca como unidad de planificación y desarrollo, las medidas deben ser ejecutadas con la especificidad de cada una de las zonas ecológicas de la cuenca, integrando el manejo edáfico e hídrico, así como también considerando las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, mineras y otros componentes de importancia en las condiciones locales específicas.

Al tomar a la cuenca como unidad topográfico - hidrológica, el espacio se circunscribe al drenaje de un eje central de escurrimiento superficial, donde las características del curso hídrico están determinadas por el uso y manejo de la tierra, y la vegetación. Así la mayoría de las actividades desarrolladas por el hombre, se relacionan con el ciclo del agua, donde el desarrollo de actividades en las parcelas individuales, estará determinado por el manejo de los suelos, del agua y los cultivos en los sectores más altos de la cuenca, elementos que tendrán importantes consecuencias sobre los recursos suelo y agua de las propiedades ubicadas aguas abajo.

El manejo mejorado del espacio hidrográfico, puede incrementar la estabilidad y productividad del área, además de regular el flujo de los cursos de agua durante el año, ayudando a atenuar los “picks” de caudal, reduciendo la severidad de inundaciones y cortes de caminos, y asegurando mayor disponibilidad de agua en los períodos secos. Si se asegura una buena cobertura vegetal en la cuenca, significará que el agua será retenida un mayor tiempo sobre el terreno, favoreciendo su infiltración en el suelo, lo que implica una reducción de la velocidad y volumen de la esorrentía superficial, aumentando así la disponibilidad de agua en el perfil del suelo, pozos, norias y vertientes.

Se podría decir que un exceso de vegetación, que utiliza el agua para satisfacer sus necesidades evapotranspirativas específicas, significará un menor aporte de agua al sistema hídrico, pero resulta más significativo el hecho de que una mejor cobertura puede atrapar un mayor volumen de agua caída, ayuda a la protección del suelo, asegura cierto nivel de agua en las vertientes y esteros en las épocas secas. En resumen siempre habrá mayor disponibilidad de agua en una cuenca con buena cobertura vegetal, y la forestación de una cuenca implica una valoración económica, sumada al uso que representan las especies sembradas y/o plantadas, para los sistemas de producción campesina.

Los programas de manejo y conservación de suelos y aguas han adoptado generalmente como unidades de trabajo el municipio (unidad político - administrativa) o la comunidad (unidad sociológica), o la propiedad agrícola aislada, pero las actividades de desarrollo realizadas sobre estas unidades no ofrecen una base sólida para enfrentar los problemas de degradación de los recursos naturales. La cuenca como unidad territorial integrada, se ajusta mejor a planificación para el manejo y conservación del suelo y el agua, ya involucra la dinámica y los flujos de relación entre los elementos que configuran los recursos, de una forma interdependiente a pesar del nivel de complejidad que desde el punto de vista geomorfológico e hidrológico.

Una planificación a mediano plazo tanto del predio como de la cuenca hidrográfica, la cual tenga como objetivo reorganizar algunas actividades, aunque mantenga los mismos sistemas de producción, puede favorecer el ordenamiento del espacio para un uso más adecuado de los recursos. La capacidad de uso de suelo debe servir como guía para reorganización territorial, sin embargo debe ser tomados en cuenta, otros factores relevantes desde el puntos de vista de los usuarios del espacio, como por ejemplo las necesidades

de autoconsumo, la experiencia, los conocimientos, la factibilidad de comercialización de productos, la rentabilidad y el acceso a los servicios.

5.2 Conservación de los Recursos Hídricos y de Suelo.

Si tomamos en cuenta que los procesos de degradación de los recursos, tienen su origen en factores de orden económico, social y cultural, traducidos en sobre explotación y prácticas inadecuadas de manejo de suelos y aguas, donde las consecuencias más evidentes son la pérdida de fertilidad del suelo, la reducción de la productividad y un empobrecimiento generalizado de los sistemas de producción agropecuaria. La actividad antrópica produce cambios en la capa de vegetación que cubre la superficie del suelo, posibilitando su compactación, rompiendo su estructura y haciéndolo transportable. Estas condiciones contribuyen a reducir la capa superficial, afectando la capacidad del suelo para dejar entrar y almacenar el agua, dificultando la penetración de las raíces en el suelo y obstaculizando la obtención de nutrientes para las plantas. Si el equilibrio existente en el sistema se rompe, se puede dar inicio a un proceso acelerado de degradación, donde el desgaste supera la capacidad de recuperación de los ecosistemas, ejemplo de esto son las cárcavas, que destruyen perfiles y suelos completos. Así el manejo conservacionista de suelos y aguas, se traduce en incrementar o por lo menos mantener la productividad de la tierra, deteniendo o revirtiendo los procesos de degradación. Uno de los factores principales que limitan los rendimientos de los cultivos son las condiciones deficitarias o cambiantes de humedad en el perfil del suelo. Las probabilidades de falta de agua para el crecimiento de un cultivo aumentan cuando disminuye la velocidad y volumen de infiltración de agua en el suelo por lo que el desarrollo radicular es escaso y poco profundo.

Las prácticas de manejo de suelos, aguas y cultivos, en especial las labranzas, deben orientarse a mantener y/o mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos. Esto permitirá la protección de la superficie del suelo de las gotas de lluvia, aumentando la infiltración de agua en el perfil, manteniendo un ambiente favorable para penetración y desarrollo de las raíces, reduciendo los volúmenes de escorrentía y erosión.

Dentro del contexto del área de estudio, donde la condiciones de expansión de la superficie agrícola son limitadas, el desafío se enmarca en cómo incrementar la producción por unidad de superficie sin destruir el suelo como recurso básico para la producción vegetal. Siendo la degradación de las tierras y la escasez de recursos hídricos los principales factores de falta de sostenibilidad en los niveles de producción agropecuaria. La degradación de la cobertura superficial de la corteza terrestre además, provoca un notable incremento de las catástrofes naturales, como inundaciones, remociones en masa, colmatación de reservorios y canales, y destrucción de caminos y obras de arte. Dentro de los procesos de degradación con mayores consecuencias para las actividades agropecuarias, se tiene la erosión hídrica, el sellado y encostrado superficial, y la compactación del suelo.

De la cantidad de agua aportada por las precipitaciones, la gran limitante en el aprovechamiento del agua de lluvia para fines productivos y uso doméstico, es su patrón de distribución en el espacio y el tiempo. Si se asegura

una buena infiltración y retención del agua en el suelo, los cultivos serán capaces de soportar períodos más secos. Desde el punto de vista de conservación de los suelos, la mayor amenaza está constituida por los períodos de alta intensidad, ya que las gotas de agua tiene energía suficiente para destruir los agregados superficiales del suelo, los que una vez dispersos pueden sellar los poros superficiales, y una vez que las precipitaciones exceden las capacidades de infiltración del agua en el suelo, el escurrimiento superficial trae las nefastas consecuencias ya conocidas.

El fenómeno de compactación del suelo, afecta la estructura de agregados edáficos y la conformación espacial de las partículas del suelo, lo que incide en la velocidad de infiltración, modificando la repartición entre infiltración y esorrentía, afectando también el crecimiento de las raíces de las plantas. Más que alterar a las partículas sólidas del suelo, la acción física del agua, influye sobre intersticios de la estructura edáfica y sus agregados, dificultando la ventilación y el intercambio de gases a nivel de las raíces, para el efecto del drenaje de exceso de agua. Si el suelo se encuentra sin estructura, como en el caso de la arcilla densa e impermeable, la productividad puede ser muy baja ya que ni el agua, ni el aire, ni las raíces pueden penetrar fácilmente en él. A su vez cuando el suelo se encuentra pulverizado, puede ser improductivo a causa de la baja capacidad de retención de agua, o porque las capas superficiales, generalmente las más fértiles del suelo, han sido removidas por la erosión.

Dentro del manejo y conservación de suelo y agua, se tiene el enfoque convencional de preservación, donde la erosión hídrica es considerada desde un

punto de vista hidráulico e ingenieril, y no antrópico y agronómico de uso y manejo de superficie. Así sólo se centran las acciones en torno al control de la erosión hídrica, por medio del control de la escorrentía superficial, sin considerar las causas primarias del proceso, llevando a un uso prioritario de estructuras físicas de control. La presencia de cárcavas, barrancos y corrientes cargadas de sedimentos lleva a pensar que la escorrentía superficial es la principal causante de los problemas, por ello el control de volumen y velocidad de escorrentía convencionalmente ha conformado la mayoría de los esfuerzos de conservación hídrica y edáfica.

El manejo integrado en la conservación del recurso agua y suelo, se conoce como agricultura conservacionista, y dirige sus esfuerzos hacia un mejor manejo de las tierras. La erosión se debe considerar como una consecuencia previsible del mal manejo, y no como una causa primaria de los daños, siendo esencial para la restauración de la estructura, la presencia de materiales y procesos orgánicos.

Existen tres tipos de intervención que pueden adoptarse para contrarrestar la erosión hídrica, por una lado se deben minimizar los efectos del ataque de la lluvia y escorrentía superficial, se debe tender a aumentar la resistencia del suelo contra estos elementos y finalmente tratar de captar el agua y suelo después de los procesos de remoción. La suma de estos tres tipos de intervención más algunas prácticas físicas de control como la disminución de la pendiente, debieran reducir la capacidad destructiva de la escorrentía superficial.

En el manejo integrado de la conservación de suelo y agua, existen ciertos criterios técnicos básicos, que debieran tender a orientar las acciones de los sistemas productivos y la generación de maquinaria agrícola adecuada, por lo tanto en la conservación de estos recursos hay que considerar un aumento de la productividad, aumento de la cobertura vegetal del terreno, generar mejores vías de infiltración del agua en el suelo, controlar la escorrentía, manejar adecuadamente la fertilidad del suelo y el mantenimiento de la materia orgánica, y evitar o reducir la contaminación por hidrocarburos

5.3 El Factor Humano en el desarrollo y perspectiva del sector en estudio.

Para obtener resultados satisfactorios en el manejo de la tierra, la planificación de una cuenca puede tener mayor relevancia desde un punto de vista social, que desde la visión puramente técnica, si los límites reconocidos por la comunidad no coinciden con los límites topográficos de la cuenca. Para el caso de la cuenca del Pedernal, los límites físicos coinciden plenamente con la visión de comunidad que tiene los habitantes, situación que mantiene la integralidad del espacio para su buen manejo.

Si se pretende generar cambios, en el comportamiento productivo y de desarrollo de una comunidad campesina, resulta mucho más útil que sea la comunidad la que elabore sus planes de acción con la asesoría de profesionales confiables, en oposición a la implementación de planes impuestos absolutamente desde afuera, resultando hasta inviable. De este modo se debe

tomar en cuenta que la cuenca es una unidad precisa y válida para efectos de planificación, sobre todo para programas de fomento productivo agroforestales, pero trazando la construcción de prácticas conservacionistas y de desarrollo considerando a la comunidad, la cual está familiarizada con las condiciones agroecológicas imperantes y las interacción que ellos desarrollan con el ambiente donde habitan. Además si una proporción importante de la cuenca es manejada por una comunidad campesina, que implementa mejoramientos, generando resultados positivos en las condiciones hidrológicas superficiales y subsuperficiales, los restantes habitantes de la cuenca se podrán dar cuenta de los beneficios y podrían adoptar fácilmente las innovaciones que se busca introducir a todo el espacio hidrográfico.

La labor de extender tecnologías e innovaciones en el manejo, resulta más efectivo y barato cuando se hace de manera conjunta y participativa, promoviendo además la asociatividad que es tan importante cuando los recursos son escasos, debiendo actuar en grupo cuando se quiere lograr resultados más concretos.

Tomando en cuenta que el 100% de la población de la cuenca es rural y el potencial de soporte a las actividades económicas son eminentemente rurales, sólo falta la inyección de recursos técnicos y de asesoría, y el soporte económico crediticio, que permita reconvertir espacios y mano de obra subutilizada. Siempre desde la perspectiva de la focalización y pertinencia de los programas de reconversión, tanto desde el punto de vista socio - cultural como técnico - innovativo

5.4 Optimización de los Recursos, el aporte tecnológico.

La irregularidad y escasez, tanto de precipitaciones como de escurrimiento superficial, justifican la posibilidad de ocupar el acuífero de la cuenca como fuente de recursos hídricos, además de la potenciación y habilitación de tecnología de riego para optimizar el exiguo recurso hídrico y pedológico. Asociado a la optimización de los recursos, está el mejoramiento de la competitividad ante la ampliación de mercados posibles, al generar productos frutícolas de mayor calidad. Con respecto a los espacios periféricos de la producción agrícola es posible proyectar pequeños embalses de acumulación nocturna, tanto en los sectores de afluencia de vertientes como en las quebradas de activación invernal, que pueden servir para regular la acumulación para el riego y para un eventual control de procesos de activación de coluvios, removidos por el posible aumento en la torrencialidad del escurrimiento superficial, en la red de drenaje. Dadas estas condiciones la construcción de pozos profundos y la utilización de espacios de piedemonte asociados al riego tecnificado, resultan ser alternativas de implementación productiva importantes para el sector, donde también se pueden aplicar rediseños prediales, con características agroforestales, es decir se ordene el territorio predial en función de su posición y sus condiciones particulares, en base espacios destinados a la hortofruticultura, a cortinas forestales y a espacios ganaderos.

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

6.1 Conclusiones referentes al Área de Estudio

La información existente en referencia tangencial y/o directa, del área de estudio, presenta diversos errores que este estudio se han advertido y corregido, de acuerdo a la globalidad de datos e información colectados, correcciones que de no haberse realizado distorsionarían de manera sustantiva ciertos resultados y conclusiones.

En el área de estudio se han podido identificar dos microrregiones con aptitudes claras para la focalización de inversiones y esfuerzos tendientes a reactivar actividades y prácticas agrícolas en términos sustentables, en primer lugar aparece la microrregión Chalaco – Valle de los Olmos, con la mayor superficie disponible para el desarrollo de las actividades agrícolas, sobre todo en la ribera oriental, que presenta aportes más significativos desde el punto de vista hidrológico, ya que su alimentación proviene de la precordillera, presentando también mejores condiciones hidrogeológicas, debido a la mayor presencia de sedimentos cuaternarios aluviales y coluviales. Un segundo sector que muestra condiciones con mejor aptitud agrícola, es la microrregión La Tejada que presenta menor superficie para el desarrollo agrícola, aquí la utilización debiera ser más intensiva, ya que también puede tener buenas perspectivas de riego, debido a la disponibilidad de recursos hídricos superficiales permanentes.

En lo que se refiere al rol del estado como ente activador del desarrollo a través de sus distintos servicios, este debiera abocar recursos para la investigación y el desarrollo productivo del área, fortaleciendo la intervención en el sector de instituciones como INIA, SAG, INDAP, FIA, SERCOTEC, FOSIS (DPR – Entre Todos), ONG's, etc., las cuales pudiesen desarrollar actividades complementarias que permitan hacer más pertinentes los programas que se apliquen en el sector con el sentido de no diluir recursos, buscando potenciar las características productivas que tengan mayor proyección, tanto en los mercados regionales, nacionales y en lo posible extranjeros.

6.2 El Impacto en el Desarrollo Local

Si bien en el sector se han desarrollado actividades de Fomento Productivo, se hace necesario focalizar las políticas y programas a las condiciones particulares de cuencas y microcuencas, estructurando estrategias de intervención más claras e integradas, donde se consideren no sólo factores agrícolas, sino las condiciones rurales generales que impiden salir del estancamiento económico a la población de estos sectores, como por ejemplo diseñar con los agricultores el ordenamiento de sus recursos prediales, mejorar la infraestructura vial, promover la inserción de cultivos innovativos adaptados a las condiciones agroecológicas de la microrregión, incorporar las tecnologías de riego apropiadas, transferir prácticas conservacionistas del suelo, promover el patrimonio agrícola evitando el uso de agroquímicos convencionales, implementar proyectos de agregación de valor de los productos agropecuarios, apoyar la búsqueda de canales de comercialización, promover la asociatividad de los pequeños productores tanto para obtención de insumos como para la venta de los productos. Todo el tejido productivo que implica fortalecer las

economías locales, debiera ir generando nuevas posibilidades tanto en la población ligada a la actividad agrícola como la que tiene una relación tangencial con ésta, así al apoyar y promover nuevas directrices y estrategias de desarrollo con base en los recursos existentes, se van adosando y vinculando nuevas perspectivas económicas complementarias a la estructura base, que en este caso es la actividad agrícola, dentro de la cual cabe el Turismo Rural.

6.3 El Impacto en la Descentralización Intrarregional

Una de las razones fundamentales por las cuales se optó por estudiar la Cuenca del Río Pedernal, fue por su localización geográfica al interior de la Quinta Región, territorio regional desarrollado fundamentalmente en función de los espacios costeros, con tendencia a concentrar población en los centros urbanos donde se realizan actividades económicas comerciales, de servicios e industriales, apuesta de desarrollo económico que se hace insustentable si no consideramos el contexto regional completo, que cuenta con amplios y diversos espacios donde se desarrollan y viven personas dedicadas a las actividades rurales, que perfectamente puede ser una opción absolutamente válida para poder trabajar y vivir. Con el objeto de dar relevancia territorial a los espacios rurales que son el soporte del mundo urbano, se hace necesario potenciar y focalizar esfuerzos para reactivar el desarrollo de territorios que puedan equilibrar las condiciones de calidad de vida de los habitantes de la Región, al desarrollar económicamente los sectores rurales como los hay muchos en la Provincia de Petorca, estos lugares se tornarían atractivos en contrapunto a los sobrepoblados sectores urbanos, que no ofrecen mejores expectativas que la pobreza y desempleo urbano.

Si bien promover el desarrollo rural no es tarea fácil, ya que implica una apuesta de mediano y largo plazo, con estrategias integrales, debiera ser preocupación prioritaria, ya que si no hay una buena cantidad y calidad de productos que ofrecer, se hace difícil poder activar el tejido de servicios regionales.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN.

Documentación Bibliográfica.

Bruhns W., Ramdohr P., *Petrografía*. México, 1964.

Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, *Guía para la elaboración de estudios de Medio Físico: contenido y metodología*. (MOPU, España), 1982.

Centro de Recursos Hidráulicos, *Modelo de Simulación en la Cuenca del Río Elqui*. Espildora, B.; Palma, G. Universidad de Chile. 1977.

CIREN CORFO, *Estudio Agrológico V Región, Descripciones de Suelos*. 1997.

Chow V. T., Maidment D., Mays L. W, *Hidrología Aplicada..*; 1994.

Davis S.N.; de Wiest R, *Hidrogeología*. 1971.

Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología, (bf Ing. Civiles), *Análisis Estadístico de caudales en los ríos de Chile, Vol. II, Regiones V, VI, VII y RM*. 1994.

Dirección General de Aguas (MOP), *Balance Hídrico de Chile*. 1987.

Dirección Meteorológica de Chile, Departamento Agrometeorológico, *Anuario Agroclimático de las Regiones V, RM y VI; Temporada Agrícola Mayo 1993 – Abril 1994.* 1994.

Dirección Meteorológica de Chile, Departamento Agrometeorológico, *Anuario Agroclimático de las Regiones V, RM y VI; Temporada Agrícola Mayo 1994 – Abril 1995.* 1995.

Estudios e investigaciones en la 1° Conferencia Latinoamericana sobre Hidrología Urbana en Cochabamba, *La contaminación de Aguas subterráneas en áreas urbanas de América Latina.* Bolivia, 1987.

Figuroa H., *Morfología de la Cuenca del Río Petorca.* Revista Geográfica de Valparaíso, N° 26-27, 1995-1996.

Gajardo, R., *La Vegetación Natural de Chile, Clasificación y distribución geográfica.* 1994.

Gibson U. P.; Singer R., *Manual de Pozos Pequeños.* 1989.

Kazmann R. G., *Hidrología Moderna.* 1969.

López F., *Contaminación de las Aguas Subterráneas..* (Hidrología UNAM), 1990.

Mottana, A., *Guía de Minerales y Rocas.* 1980.

Paskoff R., *Le Chili Semi-Aride.* 1970.

Peña L., *Apuntes de Conservación de Suelos..* (U. de Concepción), 1989.

PLANDES, *El Hombre en la Zona Árida del Norte Chileno.* 1970.

Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente, *Guía para la elaboración de estudios del Medio Físico.* (MOPT, España), 1992.

Documentación Cartográfica.

I.G.M., Cartografía 1:50.000. Petorca – Tranquilla. 1968

SERNAGEOMIN, Hoja Quillota – Portillo 1:250.000. 1993

Documentación Fotográfica.

CIREN-CORFO, Ortofotos 1:20.000 El Sobrante – Estero Chalaco – Estero
Tejada –La Chimba. Fotografías 1983, Información 1996.
SAF, Fotos Aéreas 1:20.000, Sector 08. (FONDEF), 1995.