

SUPPLEMENT
to the
3rd QUARTERLY REPORT
of the
ASSESSOR IN SOILS
F.A.O. — CHILE

—0000—

INFORME TRIMESTRAL
del
ASESOR EN SUELOS
F.A.O. — CHILE

1961

CHARLES S. WRIGHT
ASESOR EN SUELOS
F.A.O. — CHILE

DIRECCION DE AGRICULTURA Y PESCA
DEPARTAMENTO DE CONSERVACION Y
ASISTENCIA TECNICA
SECCION AGROLOGIA

SUPPLEMENT
to the
QUARTERLY REPORT
of the
ASSESSOR IN SOILS
F.A.O. — CHILE

—0000—

INFORME TRIMESTRAL
del
ASESOR EN SUELOS
F.A.O. — CHILE
1961

CHARLES S. WRIGHT
ASESOR EN SUELOS
F.A.O. — CHILE

DIRECCION DE AGRICULTURA Y PESCA
DEPARTAMENTO DE CONSERVACION Y
ASISTENCIA TECNICA
SECCION AGROLOGIA

INFORME TRIMESTRAL

Julio - Agosto - Septiembre
1961

Charles S. Wright

En Julio se completó el trabajo en el terreno en la Provincia de Tarapacá. Como complemento de este Informe Trimestral se ha preparado un informe sobre "Los suelos y los problemas agrícolas de la Provincia de Tarapacá".

En el informe complementario se incluye además un mapa esquemático de las principales clases de suelos de la Provincia así como algunas notas preliminares sobre suelos.

A fines de Julio se realizó una corta investigación sobre los suelos de las terrazas-jardines ('Andenes') ubicados al este del Salar de Atacama, en la Provincia de Antofagasta. Un breve resumen de estos interesantísimos suelos se incluye en el informe complementario.

Durante el mes de Agosto, se reanudó el trabajo en el terreno en la Provincia de Ñuble, donde el Sr. Jaime Espinoza está haciendo notorios progresos con el Boletín de Suelos y Uso de la Tierra de la Provincia de Ñuble.

Hacia fines de Agosto, y con el fin de asistir al X Congreso de Ciencia del Pacífico en Hawaii se tomó unas vacaciones. Un rasgo sobresaliente de este importante Congreso fue la fuerte representación chilena, - que dobló en número las representaciones de cualquier otro país Latinoamericano. Daba la impresión de que los científicos chilenos gradualmente van tomando el legítimo lugar que les corresponde entre los líderes del pensamiento científico del continente Sud-Americano. Es de esperar que esta tendencia continúe y que en el futuro, aún más jóvenes y vigorosos científicos chilenos puedan asistir a estos Congresos Internacionales.

QUARTERLY PROGRESS REPORT

July -- August -- September
1961

Charles S. Wright.

Field work was completed in the province of Tarapacá in July. An account of the "Soils and agricultural problems of Tarapacá Province" has been prepared as a supplement to this Quarterly Report.

A sketch map of the main kinds of soil in the province and some preliminary soil notes is also included in the supplement.

During the latter part of July a brief investigation was made of some very old terrace garden ('andenes') soils located to the east of the Salar of Atacama, in the province of Antofagasta. A brief account of these very interesting soils is included in the supplement.

During August, field work was resumed in Muble Province where Sr. Jaime Espinoza is making good progress with the Soil and Land Use Bulletin of Muble Province.

Towards the end of August, a further period of vacation leave was taken, in order to attend the 10th Pacific Science Congress in Hawaii. A feature of this important meeting was the strong Chilean representation, -- more than double the number that attended from any other Latin American country. One got the impression that Chile scientists are gradually taking their rightful place amongst the leaders of scientific thought in the South American continent. It is hoped that this trend will continue and even more young, vigorous Chilean scientists will be able to attend such International Congresses in the future.

EL PROCESO DE SUELOS Y LA EVOLUCION DE LA AGRICULTURA

EN EL NORTE DE CHILE

Las investigaciones arqueológicas más completas en el Norte de Chile son las realizadas por el Rvdo. Padre Gustavo Le Paige, S.J., que abarca un área de 300 millas de largo por 80 millas de ancho, en la vecindad del Salar de Atacama, y que se extiende hasta el nacimiento del río Loa, en la provincia de Antofagasta, Chile. En esta región, el Padre Le Paige ha encontrado la existencia de una notable y completa secuencia de desarrollo cultural que comprende desde las culturas de comienzos del Paleolítico a las del Megalítico (o Neolítico?), y su registro, aún algo incompleto, se extiende desde la llegada de los Incas y Españoles en los siglos XV y XVI respectivamente. De gran interés para el experto en suelos es la parte de la historia que se relaciona con la transición de grupos nómadas de cazadores, a comunidades agrícolas estables: transición que apareció a fines del periodo Paleolítico. Siguiendo los consejos del Padre Le Paige, se realizó una investigación preliminar de las tierras empleadas por estos agricultores primitivos en la región Atacameña. Esta información fué complementada por el exámen de los suelos de terrazas en varios lugares de la Cordillera Andina llegando hasta el límite Peruano, aunque en esta región más septentrional aún quedan por reunirse algunos datos arqueológicos.

o o o o o

Los habitantes paleolíticos de la región de Atacama eran los típicos nómadas de la Edad de Piedra, que habitaban moradas temporales de escondites y ramajes, carentes de cerámica y utensilios domésticos, en gran parte preocupados de la constante persecución de caza con lanzas con puntas de piedra (1). La caza se concentró, hasta cierto punto, en las playas de un gran lago interior cuyos límites se hundieron paulatinamente a través de los siglos y cuyas aguas se tornaron cada vez mas salinas. Hoy día, este antiguo lago es casi un salar con un área de aproximadamente 850 millas cuadradas - el gran Salar de Atacama. Estos Atacam eños de la Edad

de Piedra, probablemente habitaban una región semi-árida con una vegetación más o menos abierta compuesta de arbustos xerofíticos y especies de pastos que difieren poco de los que hoy se encuentran en la región, aunque es probable que las plantas individuales fuesen de mayor tamaño y que formasen una capa de vegetación más densa. Esta gente vivía en alturas que van de 2.945 mts a más de 4.300 mts sobre el nivel del mar, y en formaciones terrestres que van desde planicies aluviales a la orilla de lagos, hasta formaciones de lavas inclinadas y planicies altas del altiplano Andino. En esta parte de Chile, las pendientes de la cordillera de los Andes están formadas casi en su totalidad por estratas masivas de lava riolítica, profundamente agrietadas y cortadas por desfiladeros y lavas basálticas y lechos de escorias comparativamente raros y de ocurrencia local. En este paisaje, los únicos suelos profundos, son los formados por cenizas volcánicas depositadas directamente en un altiplano alto (especialmente sobre 4.450 mts); ciertos suelos coluviales formados, en parte de cenizas volcánicas y restos de rocas que se acumulan en el fondo de las quebradas; y suelos formados de material volcánico depositado como aluvio en la cuenca del lago. En ningún período, desde que el hombre recién apareció en esta región, el clima ha sido lo suficientemente húmedo como para permitir la presencia de arcilla como resultado de la intemperización; la formación de ésta es mínima. Las capas de cenizas volcánicas más antiguas en el altiplano no son sino de texturas franco arenosas gruesas, y sólo en los antiguos lechos del lago se encuentran estratas de arcillas arenosas y limosas. Muy poco material de suelo suelto se encuentra en su lugar en las pendientes riolíticas de la cordillera, y todas son pedregosas y arenosas. A través de toda la región hay abundante evidencia de que el clima ha seguido una tendencia consistente hacia una aridez creciente.

El cambio de la vida nómada hacia una forma más sedentaria, estuvo indudablemente asociada a la captura y exitosa domesticación de las llamas y alpacas nuevas. El cambio sobrevino cuando la provisión de agua no-salina ya estaba determinando el tipo de existencia humana en aquella región. Las aguas de la cuenca del lago eran lo suficientemente salobres como para hacerlas poco gratas al paladar; y el altiplano, frío, azotado por el viento, con sus lagunas y vertientes alimentadas por aguas provenientes de deshielos, era demasiado inhóspito para habitar en forma prolongada. Los únicos sitios ecológicos apropiados para ellos eran las profundas quebradas, con sus riachuelos y vertientes de aguas frías, pero dulces. Fué en estas quebradas donde primero aparecieron las moradas con murallas de piedra y patios amurallados o pequeños corrales para guardar el ganado y también aquí aparecieron las primeras terrazas irregulares atravesando el fondo de los valles. Las piedras talladas asociadas a estas primeras colonizaciones, demuestran que ellas fueron creadas por gente de un estado cultural correspondiente al período final del Paleolítico al Mesolítico. Los fragmentos de al-

farería primitiva de origen local, las piedras para moler y otros utensilios domésticos, así como otras indicaciones de una forma de vida sedentaria, hacen su primera aparición en la región, asociados a la posesión de casas con patios amurallados (2).

En la actualidad, uno sólo puede especular respecto al origen de las primeras terrazas-jardines sencillas. Es absolutamente posible que se permitiera a las pequeñas manadas de llamas domesticadas pastar en las áreas de más rica vegetación que se encontraban en el fondo de las quebradas, y que se construyeran murallas transversales con el fin de facilitar el rodeo de animales. Durante el período de inundaciones (Febrero y Marzo), estas murallas transversales servían para atrapar el limo y el suelo arrastrado por el río con cada inundación. En esta forma se juntaban tres condiciones para la agricultura de la región: provisión de agua, profundidad de la tierra, y posiblemente, concentración de residuos orgánicos del ganado. También es posible que la primera concentración de plantas comestibles proviniera de las semillas acarreadas en el forraje para el ganado, transportado durante la larga estación seca. La presencia de piedras de moler horadadas, usadas en las murallas, en este período implica que la gente estaba acostumbrada a moler semillas para obtener féculas y alimentos ricos en proteínas. Los suelos ricos en limo del fondo de las quebradas constituirían los lugares lógicos para propagar las plantas alimenticias, y la presencia de agua que podría ser fácilmente conducida a los cultivos, sin canales de regadío, aseguraría su supervivencia en la larga estación seca.

De esta serie de afortunados accidentes, sólo bastaría un pequeño paso para la construcción deliberada de represas para el limo a intervalos más frecuentes en el fondo de los valles, así como la construcción de largas murallas laterales para separar los animales del área utilizada para los cultivos. Las murallas laterales eran esenciales para el cuidado, tanto de los cultivos, como del ganado, y, muy probablemente, la construcción de ellas debe haber conducido al descubrimiento de otro medio de formación de suelos mediante terrazas. Este tipo de murallas, construídas a los lados del valle, cerca del pie de las lomas, impediría de inmediato el movimiento coluvial normal que acarrea el suelo de los cerros, e inevitablemente se produciría la acumulación de suelos pedregosos profundos en la superficie de las murallas. De esta manera se formaría una terraza lateral. Habría agua disponible donde surgieran vertientes cerca de este nivel, lo que haría estos suelos extremadamente fértiles. Una serie de tales vertientes podría conectarse por medio de canales para llevar agua a una larga faja de suelos de terrazas laterales, y extendiendo el canal hacia el nacimiento del valle, la corriente principal podría ser interceptada asegurándose en esta forma el caudal regular del agua de regadío para la terraza. El desarrollo de las terrazas múltiples (andenes), levantando hilera tras hilera a orillas del valle, tendría que

haber esperado la evolución de tipos apropiados de canales, productos de los avances tecnológicos que fueron posibles una vez que se hubo descubierto la idea inicial de las terrazas laterales.

Hasta hoy día existen muchos ejemplos de terrazas antiguas - en parte primitivas, algo evolucionadas, y bien desarrolladas. En algunas localidades han sido completamente abandonadas, probablemente debido a que las vertientes o riachuelos que antes las alimentaban se han secado, junto con la sequía general que afectó todo el área. En otras localidades, anteriormente cultivadas, el volumen de agua es actualmente sólo apropiado para regar las terrazas inferiores. En otras partes, sólo el fondo del valle es cultivado y todas las terrazas laterales han sido abandonadas. En algunos lugares, los derrumbes y las fuertes inundaciones han casi destruido los últimos vestigios de esta antigua agricultura.

Es bastante probable que un examen cuidadoso de una amplia selección de estas terrazas antiguas, nos revelaría bastante más acerca del nacimiento de la agricultura en el Norte de Chile. El examen rápido, de sólo unas pocas regiones seleccionadas, nos da alguna evidencia en favor de la hipótesis del descubrimiento paulatino del manejo del suelo, siguiendo el proceso ya señalado anteriormente. Parecen existir por lo menos tres aspectos del problema que pueden ser examinados a la luz de las evidencias arqueológicas:

- (1) la evolución gradual en la construcción de las murallas de las terrazas, desde el simple alineamiento de bolones y piedras apiladas hasta la selección, graduación y ajuste preciso de estos bolones y piedras hasta formar una muralla, con una superficie exterior lisa, ancha en la base, para resistir mejor la presión natural del suelo suelto;
- (2) la evolución de los canales desde simples trincheras ramificadas en el fondo del valle, hasta los acueductos de piedras alineadas, unidas por arcilla, contruídos cuidadosamente con grandes piedras planas bien ajustadas unas a otras con una mezcla de arcilla bentonítica u otro tipo similar (a menudo trasladada al sitio desde una distancia considerable), extendiéndose en las márgenes de los valles por muchas millas; y
- (3) cambios internos en el interior de los suelos de las terrazas resultantes de los siglos de uso.

Siguiendo estas ideas y extendiendo las observaciones de los lugares seleccionados, hasta llegar a Putre, por el norte, en el Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá, parece ahora casi cierto que, como lo sugirió Le Paige (2, p.20), que las primeras

colonias agrícolas, ocurrieron en el fondo de las quebradas. Aquí se puede encontrar el más sencillo de todos los sistemas de terrazas en forma de amplias plataformas de suelo originadas por las acumulaciones limosas aluviales, sobre las barreras de ripio. Muchas de estas aún se usan, y han sido posteriormente provistas con canales de riego; pero en algunas localidades aún se riegan mediante una simple desviación de un pequeño riachuelo en el fondo del valle. En estas terrazas las capas más profundas del suelo a menudo contienen más humus que las superiores; en algunos casos, el subsuelo oscuro, rico en humus se extiende a más de 1,14 m. (ver Apéndice, perfil II). Donde aún se utilizan estos suelos, a menudo poseen una notable población de lombrices (esto es extremadamente interesante pues las lombrices casi no existen en el Norte de Chile) y es interesante descubrir que todas ellas parecen pertenecer a una especie europea común, la *Allolobophora caliginosa*. Las terrazas de este tipo, abandonadas varias generaciones atrás, o por un período aún mayor, carecen de esta población de gusanos; tal vez el impedimento sea el agua, ya que los subsuelos son típicamente oscuros y ricos en humus. En algunos casos, la parte más inferior del subsuelo contiene fragmentos de carbón finamente divididos que indudablemente contribuyen a dar el tono oscuro al color. Es probable que estos fragmentos de carbón fuesen el resultado de quemar la vegetación en el fondo del valle, y a lo largo de los lados del mismo. Es tentador pensar que éstos hayan resultado de una actividad deliberada, ya que un suelo oscuro tendría una ventaja considerable ya que se calienta más rápidamente y estimula el crecimiento de la plantas cuando el sol alcanza el fondo del valle, después de las noches frías que son corrientes en estas regiones. Este 'ennegrecimiento' deliberado del suelo fué empleado por los colonos Maoríos en Nueva Zelanda, en un intento de cultivar granos alimenticios subtropicales en suelos fríos.

En muchas localidades, estas plataformas rústicas del fondo de los valles, contrastan notablemente con las filas de angostas terrazas de banco cuidadosamente construidas a los lados de los valles y alimentadas por acueductos resistentes y de construcción esmerada. Estas terrazas laterales constituyen, sin lugar a dudas, una evidencia de un sistema de manejo de la tierra altamente evolucionado. Los suelos de estas terrazas son de color más claro y parejo que la mayoría de los suelos de las terrazas en forma de plataforma del fondo del valle; por lo general, contienen una proporción mayor de piedras y arena gruesa, y mucho menos limo y arcilla en la parte superior del perfil (ver perfil III, en el apéndice). Un rasgo interesante es que, gran parte de estos suelos muestran un claro cambio por una compactación que se presenta desde una profundidad de 37 a 45 cm. bajo la superficie. De esta profundidad hacia abajo, el suelo es decididamente denso y compacto. Con la sola evidencia de la observación de terreno, no es posible tener seguridad respecto a si esto es únicamente consecuencia natural de muchos años de cultivo superficial o si fue, de hecho, una acción

deliberada incorporada durante la construcción de las terrazas. Es tentador explorar esta última posibilidad, ya que este subsuelo compactado constituye una base admirable que une la muralla de retención de la terraza con el cerro, y aun más, reduce las pérdidas de agua de riego por percolación, y posiblemente impide el desarrollo de solidificación en toda la masa del suelo de la terraza. Picando cuidadosamente la tierra en una terraza típica de banco, con un barreno geológico, se pudo comprobar que la capa compacta empieza casi en la superficie del suelo cerca de la pared de retención de la terraza y se inclina hacia las orillas del cerro. Es también cerca de la superficie del suelo, al término de la terraza, donde entra el canal de riego y es más profundo en el extremo donde sale el agua. De este modo, esta compactación sub-superficial formaba un plano inclinado hacia abajo y hacia el interior, ideal para alcanzar el máximo de eficiencia en el riego, con la mínima cantidad de agua. En las condiciones actuales, los suelos se cultivan sólo con herramientas sencillas y azadones para excavar, y éstos no penetran sino hasta algunas pulgadas de profundidad en el horizonte compacto. Además, la textura del suelo a menudo cambia bruscamente de franco arenoso o franco pedregoso a franco arcilloso pedregoso al nivel donde comienza el perfil compacto.

El arte de construir terrazas parece haber muerto completamente en la región. No se ha observado ningún sistema de terrazas construido recientemente, y, a lo más, las terrazas antiguas, son mantenidas en uso por simple reparación de las murallas de retención. Los canales que proveen de agua a las terrazas de los cerros que aún se usan, son nuevos pero místicos, construidos para reemplazar los acueductos antiguos que han sido destruidos por derrumbes. A menudo, el mejor lugar para observar ejemplos de acueductos antiguos de arcilla y piedras planas es cerca del nivel más alto de una hilera de terrazas, construidas en las colinas. Las de niveles más bajos son modernas y a menudo de construcción mística. Varios agricultores de la región comentaban que ya no sabían construir sus canales tan resistentes y eficientes como sus antecesores. El secreto tal vez se encuentre en el tipo de arcilla empleado anteriormente. En el caso de las terrazas antiguas cerca de Belén, la arcilla usada parece ser del tipo bentonítico, y tendría que haber sido transportada una distancia considerable desde su depósito natural. No se encontraron gusanos o fragmentos de carbón en estas terrazas estudiadas.

Entre las plataformas del fondo de los valles, sin duda primitivas, y las hileras de terrazas laterales, altamente evolucionadas, hay muchos tipos intermedios. Van desde las terrazas de tipo plataforma más o menos cuidadosamente construidas, en el fondo de los valles, hasta las terrazas laterales, construidas en forma bastante mística. Algunas de estas últimas están ahora en un estado de franco derrumbe y, a menudo, poseen canales de construcción inferior. Un estudio más detallado de estos tipos intermedios

demuestra que existe alguna agrupación cronológica, y que existe una relación entre la construcción standard de murallas, la construcción de canales y las condiciones del suelo y la fecha arqueológica del lugar. Un estudio de esta naturaleza requeriría una estrecha colaboración entre arqueólogos y expertos en suelos.

De las investigaciones preliminares descritas anteriormente, se desprende claramente que el hombre de fines del Neolítico, en los flancos semi-áridos del oeste de los Andes, descubrió el uso combinado de animales, suelo y agua adecuado para permitir una forma de vida agrícola sedentaria. El medio ambiente semi-árido inevitablemente forzó su atención hacia localidades con provisión de agua dulce. Enseguida descubrió la técnica de atrapar el limo para profundizar los suelos en la vecindad de agua, utilizando el proceso de sedimentación aluvial, para crear suelos profundos en una región con muy pocos suelos naturalmente profundos. Eventualmente, al descubrir una forma de utilizar el proceso de acumulación coluvial contra las paredes laterales y mejorando las técnicas del uso del agua, el hombre primitivo desarrolló una forma nueva de cultivar. Las terrazas lo que afianzó por muchos siglos su nueva forma de vida.

Es tal vez discutible si debería usarse el término "agricultura" en relación con estos sistemas primitivos de producción de cultivos porque ha adquirido la fuerza de significar producción primaria en masa, en tanto que el agricultor primitivo estaba entregado más propiamente a un tipo de agricultura de jardinería. El agricultor primitivo creaba sus "andenes" o jardines-terrazas, y toda la tierra usada en producción fundamental se obtuvo sólo después de un proceso lento y cuidadoso de construcción del suelo. Debido a esto, cada metro cuadrado de suelo en los jardines-terrazas tenía un alto significado para el agricultor, y cada planta individual que germinase tenía igualmente un alto significado. El margen entre abundancia e inanición era probablemente a menudo muy estrecho en aquellos tiempos primitivos, y a medida que la colonización se hizo más intensa, la habilidad para el cultivo de los jardines tendría que haberse desarrollado con la mayor intensidad.

Como resultado de esta rigurosa atención dispensada a la suerte de cada semilla a través del ciclo de germinación, su crecimiento y cosecha, fué la rápida selección de las variedades más nutritivas, que aparecían en los jardines. No fué por casualidad que, de este paisaje relativamente inhóspito de lomas rocosas y profundas quebradas, haya surgido una proporción elevada de los cereales, tubérculos y frutas tan populares hoy día en todo el mundo. Más aún, el ambiente era muy apropiado para la producción de plantas anormales, estando situado a una elevada altura, sujeto a cambios de temperatura diurna muy marcados, muy elevada intensidad de luz solar y condiciones atmosféricas muy secas. Agregando a todo esto se suma un grupo humano cuyas circunstancias los forzaron a desarrollar un ojo experimentado para descubrir dife-

rencias genéticas entre plantas individuales, y la evolución constante y rápida de las plantas alimenticias valiosas y de buena calidad, tales como maíz, papas, etc. Estos primeros agricultores se vieron atrapados, en un paisaje seco, entre tierras bajas áridas y salinas y tierras altas extremadamente frías y semi-áridas. Puede ser muy posible que aún la clave de su sobrevivencia, - la domesticación de una parte de los animales salvajes -, les fuese impuesta parcialmente por el lento declinar de la capacidad de mantención de la capa vegetal natural y la necesidad inevitable, de abarcar más y más superficie, en busca de carne, a medida que el paisaje se tornaba más árido. Si esto fué así, debimos estar agradecidos del pueblo de la Llad de Piedra que agudizó su ingenio para hacer frente al desafío del medio que se tornaba cada vez más hostil.

Las técnicas de cultivo de terrazas, alimentaron directamente una parte de la raza humana, por más de mil años e hicieron una valiosa contribución agrícola, a un grupo mucho mayor. Durante los últimos cuatro siglos esta forma de agricultura ha estado en franca decadencia. Llegaron los Incas, asimilaron ideas y técnicas y recién habían comenzado a organizar la producción cuando sobrevino la Conquista Española. El resto es historia reciente.

Hoy día, alrededor del 80% de los antiguos jardines-terrazas están abandonados y los que están aún en producción apenas si cultivan productos alimenticios para sus propios dueños. La producción de maíz, trigo y papas, ha sufrido una decadencia continuada hasta alcanzar el nivel de mera subsistencia, y los rubros mayores que llegan a los mercados más allá de los Andes, son el orégano (hoja para condimento usada en la fabricación de sopa en polvo) y alfalfa. Este último es un producto esencial para alimentar mulas y burros, necesarios para mantener las comunicaciones con las aldeas y ciudades de la costa, y por lo general sobre algo de producción, disponible para la venta fuera de la región. Pocas de estas antiguas colonias establecidas de pre-cordillera, tienen caminos apropiados para el tráfico de vehículos, y sólo se puede llegar a algunas de ellas, después de un largo día de viaje en mula. En los últimos años se ha acentuado el traslado de la generación joven, hacia los centros costeros, y si esta tendencia continúa es probable que todas las áreas más grandes de jardines-terrazas, sean abandonadas dentro de las dos próximas generaciones.

12.9.61
ACS/nb/cm/pr.

THE SOIL PROCESS AND THE EVOLUTION
OF AGRICULTURE IN NORTHERN CHILE

The most complete archeological investigations in Northern Chile are those of R.P. Gustavo Le Paige S.J., covering an area 300 miles long by 80 miles wide in the vicinity of the Salar of Atacama and extending to the headwaters of the Loa River, in the Province of Antofagasta, Chile. In this region, Father Le Paige has shown a remarkably complete sequence of cultural development from Early Paleolithic to Negalithic cultures, and the record, as yet somewhat incomplete, extends to the arrival of the Incas and Spaniards in the 15th and 16th centuries respectively. Of great interest to the soil scientist is the part of the record relating to the transition from nomadic hunting groups to settled agricultural communities: a transition that first appeared in Late Paleolithic times. Guided by the advice of Father Le Paige, a preliminary investigation was made of the soils employed by these primitive agriculturalists in the Atacameño region. This information was supplemented by examination of terrace soils at various points along the Andean cordillera as far north as the Peruvian border, although in this more northern region archeological data still remains to be gathered.

.

The Paleolithic inhabitants of the Atacama region were typical Stone-Age nomads, living in temporary shelters of hides and branches, lacking pottery and domestic utensils, largely preoccupied in constant pursuit of game animals with stone-tipped lances (1). Hunting was concentrated to some extent around the shores of a great inland lake whose limits steadily shrank through the centuries and whose waters became increasingly saline. Today, this ancient lake is an almost dry salt-pan with an area of approximately 850 sq. miles, - the great Salar of Atacama. These Atacameños of the Stone Age probably inhabited a semi-arid region with fairly open vegetation composed of xerophytic scrub and grass species differing but slightly from those found in the region today, although it is likely that the individual plants were of greater stature and formed a much denser plant cover. These people lived at altitudes ranging from 6500 ft. to over 13000 ft. above sealevel, with landforms that ranged from lakeside alluvial plains to the

lava slopes and upland plains of the Andean altiplano. In this part of Chile, the slopes of the Andean cordillera are almost wholly formed from massive rhyolitic lava sheets, deeply fissured and cut by gorges; basaltic lavas and scoria beds are comparatively rare and of local occurrence. In this landscape the only deep soils are those formed from volcanic ash deposited directly on the high altiplano (mainly above 13500 ft. altitude); certain colluvial soils formed partly from volcanic ash and rock waste accumulating in the bottom of the gorges ("quebradas"); and the soils formed from volcanic material deposited as alluvium in the lake basin. At no time, since man first appeared in this region, has the climate been sufficiently humid to permit any considerable amount of rock weathering and, as a result, the formation of soil clay is minimal. The oldest layers of volcanic ash on the altiplano are loamy coarse sands, and only in the ancient lake bed are layers of sandy and silty clays found. Very little loose soil material is found in place on the rhyolite slopes of the cordillera, and all of this is stony and sandy. There is abundant evidence, throughout the region, that the climate has been following a consistent trend in the direction of increasing aridity.

The change from nomadic to a more settled way of life was undoubtedly associated with the capture and successful domestication of young llamas or alpacas. The change came at a time when supplies of non-saline water were already dictating the pattern of human existence in the region. The waters of the lake basin were sufficiently brackish to make them unpalatable; and the cold, wind-swept altiplano, with its lagoons and springs fed by melting snow waters, was far too inhospitable for prolonged habitation. The only ecological niches suitable as permanent dwelling places were the deep "quebradas" with their streams and springs of cold but sweet water. It was in these "quebradas" that first appeared groups of stone-walled dwellings with walled "patios" or small corrals for holding livestock; and here also appeared the first crude terraces across the valley bottoms. Artifacts associated with these early settlements show that they were created by people of the Late Paleolithic-to-Mesolithic stage of culture: fragments of primitive pottery of local origin, grinding stones and other domestic utensils, and similar indications of a settled way of life make their first appearance in the region associated with houses possessing walled "patios", (2).

At the moment, one can only speculate about the origin of the first simple terrace gardens. It is entirely possible that the small domesticated herds of llamas were allowed to graze on the more luxuriant vegetation found along the bottom of the "quebradas", and that cross-walls were first built to facilitate the rounding-up of animals. During flood time (i.e. February and March) these cross-walls would act as silt traps and the soil upstream of the walls would deepen with every flood. Thus three

conditions for agriculture in the region would be met: supply of water, depth of soil and, possibly, concentrated organic residues from the livestock. It is also possible, that the first concentration of edible seed-bearing plants came about through the carriage of fodder to livestock during the long dry season. The presence of hollowed grinding stones amongst the of this period implies that the people were accustomed to the crushing of seeds to obtain starch and protein foods. The silt trapped soil in the "quebradas" bottom would be the logical place to propagate the food plants, and the presence of water which could be easily led to the crop without elaborate irrigation canals, would ensure their survival in the long dry season.

From this series of happy accidents it would be but a brief step to the deliberate construction of silt traps at more frequent intervals across the valley bottom and the construction of long lateral walls to exclude the animals from areas growing food crops. Lateral walls would be essential for the management of both cultivated crops and livestock in the same valley bottom, and, quite conceivably, the construction of these walls might have led to the discovery of another means of soil building through terrace construction. Walls such as these, constructed along the valley sides near the foot of the slopes, would immediately begin to arrest the normal downward colluvial movement of soil on the hillsides, and deep stony soils would inevitably accumulate on the upslopeside of the walls. A lateral terrace would be born. Where springs emerged near this level, water would be available to make this soil extremely productive. A line of such springs could be connected by means of a channel to carry water to a quite long strip of lateral terrace soils, and by extending the channel towards the head of the valley, the main stream would in due course be intercepted and a regular flow of irrigation water to the terrace thus assured. The evolution of multiple terraces ("andenes"), rising tier upon tier along the valley side would have to await the evolution of efficient types of canals, but these would be more in the nature of technical improvements possible once the initial idea of lateral terracing had been discovered.

Many examples of ancient terraces; - both primitive, partly-evolved, and well-developed-, still exist today. In some localities they have been completely abandoned, probably because the springs or streams formerly nourishing them have dried up with the general drying out of the landscape. In other localities, formerly farmed, the volume of water is now adequate only to supply the lowest tiers of terraces. Elsewhere, only the valley bottomland is under cultivation and all the lateral terraces have been abandoned. In a few places, landslides and severe floods have all but destroyed the last vestings of this ancient agriculture.

It is exceedingly likely that careful examination of a wide selection of these ancient terraces would tell us a great deal more about the birth of agriculture in Northern Chile. Even the rapid, somewhat cursory examination of but a few selected localities produced some facts in support of the hypothetical step-by-step discovery of soil management along the lines suggested above. There appear to be at least three aspects of the problem that can be cross-checked with archeological evidence: (1) the gradual evolution of terrace wall construction from a single line of piled boulders, to the selection, grading and close fitting of boulders and stones to form a wall with a smooth outward face, built broad at the base, the better to resist the natural pressure of moving soil; (2) the evolution of canals from simple anastomosing trenches on the valley bottom to clay-packed, stone-lined aqueducts carefully constructed of large flat stones fitting together but with a mortar of a bentonitic or similar clay (often carried to the site from a considerable distance); extending along the slopes of the valley for many miles; and (3) internal changes within the terrace soils consequent upon centuries of use.

Using these criteria, and extending observations to cover selected sites as far north as Putre, in the Department of Arica, Province of Tarapacá, it now appears almost certain that, as suggested by Le Faige (2, p.20), that the first agricultural settlements occurred in the bottom of the "quebradas". Here may be found the simplest of all terrace systems, - wide platforms of soil produced by alluvial siltation upstream of crude rubble barriers. Many of these are still in use and have been later provided with irrigation canals; but in a few localities they are still watered by simple deviation of a small stream in the valley bottom. On these terraces the deeper layers of soil usually contain more humus than the upper layers; in some cases the dark, humus-rich subsoil extends to over 45 in. (see soil profile I of appendix). Where these soils are still in use, they often have a notably rich worm population (notable since earthworms are almost absent in Northern Chile) and it is interesting to find that the worms all seem to belong to a common European species, *Allolobophora caliginosa*. Terraces of this type, abandoned several generations ago, or for a yet longer period, lack the earthworm population; water is probably the limiting factor since the subsoils are typically dark and rich in humus. In some cases the lowermost part of the subsoil contains finely divided fragments of carbon which are undoubtedly helping to contribute to the dark colour. It is probably that these carbon fragments were the result of burning the vegetation in the valley bottom and along the valley sides. It is tempting to think that they may have resulted from deliberate activity since a dark coloured soil would have a considerable advantage in that it would warm up more rapidly and stimulate plant growth when the sunshine eventually reached the valley bottom, after the cold nights which are customary in the region. This

deliberate 'blackening' of soil was a technique also employed by the Maori settlers in New Zealand in an attempt to grow subtropical food crops in a cold soil.

In many localities, these crude valley bottom platforms contrast strikingly with the tiers of neatly constructed narrow bench terraces along the valley sides and fed by neatly and strongly constructed aqueducts. These lateral terraces are obviously evidence of a much more highly evolved system of soil management. The soils of these terraces are of a lighter and more even colour than most of the soils of the valley bottom platform terraces; usually contain a higher proportion of stones and coarse sand, and much less silt and clay in the upper part of the profile (e.g. profile II, in the appendix). An interesting feature is that many of the soils show a distinct change in compaction at about 15 to 18 inches below the surface: from this depth onward, the soil is commonly decidedly dense, and compact. From field evidence alone, it is not possible to be certain whether this is but a natural consequence of many years of shallow cultivation or was, in fact, a deliberate feature incorporated during the terrace construction. It is tempting to explore the latter possibility, for this compacted subsoil makes an admirable base welding the terrace retaining wall to the hillside, and furthermore reduces loss of irrigation water by percolation and possibly prevents the development of solifluction in the whole mass of the soil in the terrace. Careful prodding of the soil on one typical bench terrace with an auger showed that the compact layer begins nearer the soil surface near retaining wall of the terrace, and slopes inward towards the hillside; it is also nearer to the soil surface at the end of the terrace where the irrigation canal enters and is deepest at the end where the water leaves. Thus this compacted sub-surface formed an inward and downward sloping plane, ideal to achieve the maximum efficient irrigation with the minimum amount of water. Under present day conditions, the soils are only cultivated with simple digging tools and hoes, and these do not penetrate to within several inches of the compacted horizon. A further point is that the texture of the soil often changes sharply from sandy loam or stony loam to stony clay loam at the point where the compact part of the profile begins. The art of terrace building seems to have died out completely in the region. No recently constructed terrace systems were seen and, at best, ancient terraces are kept in use by simply repairing the retaining walls. Canal supplying hillside terraces that are still in use are often crude, modern affairs built to replace ancient aqueducts that have been destroyed by landslides. Often the best place to look for examples of ancient clay and flat-stone aqueducts is near the highest level of a tier of hillside terraces; those at lower levels are more modern and often of crude construction. Several farmers in the region commented that they no longer knew how to make their canals as strong and efficient as their ancestors. The secret

probably lies in the type of clay formerly employed. In the case of ancient terraces near Belén, the clay used appears to be of a bentonic type, and would have had to be carried a considerable distance from the nearest natural deposit. Neither earthworms nor carbon fragments were recorded from the hillside terraces investigated.

Between the obviously primitive valley bottom platforms and the highly evolved tiers of lateral terraces, there are many kinds of intermediate types; ranging from fairly carefully constructed platform type terraces in the valley bottoms to quite crudely constructed lateral terraces. Some of the latter are now in a badly collapsed state and have often canals of inferior construction. Closer study of these intermediate types might show that some chronological grouping exists and that there is some relationship between standard of wall construction, canal construction, and soil conditions and the archaeological dating of the site. Such a study would need close co-operation between archeologists and soil scientists.

From the preliminary investigations described above, it is clear that Late Neolithic man, on the semi-arid western flanks of the Andes, stumbled upon a combination of animal, soil and water use that made a sedentary agricultural way of life possible. The semi-arid environment inevitably forced his attention towards localities where sweet water was available. Then he stumbled upon the silt-trap technique for deepening the soils in the vicinity of the water, utilising the process of alluvial sedimentation to create deep soils in a region where few naturally deep soils exist. Eventually, by discovering a way to utilise the soil process of colluvial accumulation against lateral walls and by improving his techniques of water use, primitive man evolved an advanced form of terrace farming which made his new way of life secure for many centuries.

It is perhaps open to question whether the term "agriculture" should be used in connection with these early systems of crop production, because it has acquired the force of meaning mass primary production, whereas the primitive farmer was more correctly engaged in a type of comprehensive gardening. The primitive farmer created his "andenes" or terrace gardens and all the land used in primary production was obtained only after a slow and careful process of soil building. Because of this, every square foot of soil in the terrace gardens had a high significance to the farmer, and every individual plant germinated had an equally high significance. The margin between starvation and abundance was probably often very narrow in those early days, and as the settlements became more populous gardening skills would need to be practised at a very intense pitch.

One result of this desperately close attention paid to the fate of every seedling throughout the cycle of germination, growth and harvest, was a rapid selection of the more nutritious varieties, strains and mutants appearing in the gardens. It was no accident that, from this relatively hostile landscape of rocky slopes and deep "quebradas", emerged a very high proportion of the cereals, root crops and fruit currently in favour throughout the world today. Moreover, the environment was well suited to the production of aberrant plant forms, being situated at a high altitude, subject to very marked diurnal temperature change and with a very high intensity of sunlight and very dry air conditions. Add to this, a group of people whose circumstance forced them to develop a keen eye for genetic differences between individual plants, and the steady, rapid evolution of worthwhile staple food plants, such as maize, potatoes, etc., becomes less remarkable. These early farmers were trapped, in a drying landscape, between saline arid lowlands and exceedingly cold, semi-arid uplands. It may well be that even the key to their survival, - the domestication of a section of the wildlife -, may have been somewhat forced upon them by the slow decline in the carrying capacity of the natural plant cover and the inevitable need to range more and more widely in search of meat as the landscape dried out. If this was so, we have every reason to be grateful to these Stone-age folk who sharpened their ingenuity to meet the challenge of an environment that was becoming progressively more hostile.

The terrace farming techniques directly nourished a part of the human race for more than a thousand years and contributed much of subsequent agricultural value to a much larger group. During the past four centuries this form of agriculture has undergone steady decay. The Incas came, borrowed ideas and technicians, and had scarcely begun to organize their tithe of produce when the Spanish Conquest was upon them: the rest is a matter of recorded history.

Today, about 80% of the ancient terrace gardens are abandoned and those that are still in production do little more than grow subsistence crops for their owners. The production of maize, wheat and potato flour has been steadily declining to subsistence levels, and the only major crops that find markets outside the Andean foothills are oregano (a savory leaf used in dried soup manufacture) and alfalfa. The latter is an essential crop to feed the mules and donkeys needed to maintain communications with the towns and cities of the coast, and there is usually some surplus alfalfa production available for sale outside the region. Few of these ancient pre-cordilleran settlements have roads suitable for wheeled traffic, and some can only be reached after a long day on mule-back. In recent years the drift of the younger generation to the coastal centres has accelerated, and if the trend continues almost all the major terrace garden areas in the Northern Chile are likely to be abandoned within the next two generations.

REFERENCES:

- (1) Le Paige, R.P.G., 1958: "Antiguas Culturas Atacameñas en la Cordillera Chilena". Part I en Rev. Univ. (Católica) Santiago, Año XLIII (P. 139 - 165)
- (2) Le Paige, R.P.G., 1958: "Antiguas Culturas en la Cordillera Chilena". Part II en Anales de la Univ. Católica de Valparaíso, No. 4-5 (p. 15 - 143)

APPENDIX: Description of selected soil profiles.

Profile I. Ancient terrace soil in bottom of Quebrada Oryntor, 11 Km. East of Toconao village; altitude 2950 metres; flat, man-made soil on steeply stepped platform terrace planted in apple trees (about 100 years old).

0-0.25 in. very fine dark grey sand,
0.25 - 11 in. brown slightly stony loamy coarse sand,
11 - 32 in. very dark gray to black stony loamy coarse sand; friable; very weakly developed blocky structure; non-sticky and very slightly plastic when moist; boundary distinct; abundant worms; finely divided fragments of carbon present.
32 - 55 in. dark gray-brown stony coarse sand, moderately compact in place; boundary merging,
ON ... gravelly coarse sand.

Profile II. Ancient terrace along flank of valley of Belem River, 1.5 Km. north of Belem village; flat, man-made soil on steeply stepped terraces; altitude 2150 metres, fallow soil following maize

O - 15 in. dark gray brown (10YR 3/2, moist: gray brown, 10YR 5/2, dry) stony sandy loam; firm-to-friable; moderately developed medium to fine nutty structure breaking to granules and crumbs; slightly sticky, moderately plastic when moist, boundary distinct, (pH 7.8).

15 - 45 in. very dark brown (10 YR 4/2, moist) stony sand clay; firm to very firm, compact in place; massive, breaking to irregular blocks; moderately sticky, very strongly plastic when moist; boundary marring (pH 7.6).

ON ... dark brown stony sandy clay, similar to last horizon but much less compact, (pH 7.4).

CSW/gv

LOS SUELOS Y LOS PROBLEMAS AGRICOLAS DE LA PROVINCIA
DE TARAPACA

C. Wright, Asesor en Suelos, FAO
J. Astudillo, DECAT, Ministerio de Agricultura
E. Meléndez, DECAT, Ministerio de Agricultura

Durante los meses de Mayo y Junio, se completó un mapa de suelos semi-detallado del Valle Inferior del Azapa y se efectuó un reconocimiento general de suelos de todo el Departamento de Arica (alrededor de 16,500.000 has.). Posteriormente, los estudios de suelos se extendieron a lugares determinados, hasta alcanzar el límite sur de la Provincia de Tarapacá. Se examinó un área total de alrededor de 18,000,000 has., recogiendo cerca de 180 muestras de suelos para analizarlos. En el curso del trabajo en terreno, y a petición del Ministerio de Agricultura, del Departamento de Riego, CORFO, Junta de Adelanto de Arica, y otros grupos, incluso de agricultores particulares, se estudiaron varios problemas específicos sobre el uso de la tierra y desarrollo agrícola.

Algunos de los problemas específicos sobre el desarrollo agrícola estudiados fueron:

- La distribución de los suelos en el valle de Azapa, y la conveniencia de regarlo con el agua adicional traída al valle por el Proyecto de Desvío del Río Lauca.
- El problema de la disminución de la producción agrícola en algunos suelos del valle de Lluta, en relación con la acidez y posibles elementos tóxicos en las aguas del río.
- El problema de la declinación de la producción agrícola y la disminución de la población campesina en las llanuras aluviales y terrazas andinas de los Valles de la pre-cordillera.
- El problema de determinar un programa de desarrollo agrícola para las tierras y agricultores Aymará del altiplano.

- La posibilidad de restaurar los suelos desérticos de las pampas áridas, según las pautas del trabajo realizado en "La Concordia" y las granjas establecidas en Pica.

Los problemas agrícolas de la provincia de Tarapacá están centrados en la disponibilidad de agua. Por supuesto que las consideraciones sobre la disponibilidad, cantidad, y especialmente, la calidad del agua tienen naturalmente prioridad frente a las propiedades de los suelos, al determinar si las áreas son apropiadas o no para el desarrollo agrícola. Un conocimiento cabal de la hidrología del área es actualmente de un valor superior al conocimiento del esquema de los suelos, pero mucho más difícil de obtener.

Ni las lluvias ni las nevazones en la alta montaña y altiplanos de los Andes, en esta parte de Sud América, son adecuadas para proporcionar a la región el agua suficiente que asegure a los ríos, un caudal permanente para que alcancen a desembocar en la costa del Pacífico. Este es un factor esencial en el ambiente del norte de Chile. No existe tampoco evidencia alguna que sugiera que esta situación haya sido diferente en épocas pasadas. Por supuesto, es casi seguro que en los tiempos del Plioceno, cuando el Lago Titicaca (ahora a 3.804 m. sobre el nivel del mar) era un brazo del mar (1), el clima de las partes emergidas de la cadena Andina debe haber sido más húmedo; sin embargo, hay abundantes pruebas de que, durante el período cuaternario y siguientes, el clima ha sido consistentemente seco (2). Ciertamente, el área desértica occidental, que se extiende por más de 100 km. desde la costa hasta el pié de

los Andes, a 2.750 m. de altura, nunca ha sido más que un desierto árido, los suelos no muestran prácticamente ningún desarrollo y son poco diferentes a las tierras y gravas impregnadas de sal que quedaron al retirarse el mar en los tiempos Cuaternarios. Evidencias históricas existentes, sugieren que el volumen total del agua en la región ha disminuído leve, pero constantemente, durante los últimos cinco o seis siglos, pero nunca el volumen total del agua en curso hacia el mar ha sido lo suficientemente grande como para excavar los profundos valles que disectan el paisaje entre la cordillera y el mar. Como la mayoría de estos valles nunca ha tenido ríos, ellos deben representar cañones submarinos formados en los sedimentos originales lejos de la costa antes que estos últimos fuesen levantados sobre el mar..

Desde la era del Plioceno hacia adelante, la extensión total de levantamientos ha sido verdaderamente formidable. A no mucha distancia hacia el norte, en el Perú, hay restos de playas del Plioceno, con una fauna fósil comparable a la de las playas actuales, que ahora se encuentran a una altura de 3.500 m. sobre el nivel del mar. De cuando en cuando, los procesos de levantamiento se detenían y hasta se invertían, permitiendo al mar fluir de nuevo hasta el fondo de los cañones elevados. Fué durante uno de los últimos de estos movimientos descendentes cuando el mar depositó la grava gruesa y el ripio que hoy constituye gran parte del suelo de los valles bajos cerca de Arica. La altura máxima de estos materiales sueltos

• débilmente consolidados con sal, alcanza 1000 m. sobre el actual nivel del mar. Sin embargo, en gran medida han permanecido intactos debido a que los ríos que escurren de la cordillera nunca han llevado un volumen de agua suficiente como para excavarlos completamente. Los ríos de la región no han podido sino hacer más que cortar terrazas y erosionar parte del antiguo suelo en la región del valle más próxima al pie de los Andes; más abajo, el río desaparece bajo el antiguo terraplén del valle, y sólo en épocas de alto caudal (Febrero o Marzo, cuando llueve en el altiplano) algunos de los ríos continúan su curso erosivo y alcanzan el mar. En la provincia de Tarapacá, hay sólo dos ríos que con regularidad desembocan en el mar: el Camarones y el Lluta. El río Lluta tiene la hoya hidrográfica más grande (3.310.625 has.) y desemboca regularmente en el mar en cualquier época del año. Es ciertamente irónico que este río, el mejor de todo el norte de Chile respecto al volumen y regularidad de su curso, tenga sus aguas de una calidad apenas aceptable para fines de regadío. Esto nos introduce de inmediato en el muy debatido problema de la decadencia de la producción agrícola en algunos de los suelos del Valle de Lluta, y de lo que puede hacerse para rehabilitar la agricultura en este valle.

El Problema del Valle de Lluta

El problema puede formularse simplemente como sigue: en el curso de los últimos veinte (20) años la producción de muchos suelos del valle inferior del Lluta ha decrecido notablemente y los agricultores de la localidad están convencidos que esto

se debe a la excesiva acidez del agua producida como resultado de las operaciones de una planta refinadora de azufre en el nacimiento del río.

Las evidencias recogidas cada cierto tiempo no están totalmente de acuerdo con esta explicación simple, y algunos agricultores sostienen que las aguas no están peores que antes que la planta refinadora de azufre cambiara sus métodos de extracción. Siendo la tierra de regadío un recurso extremadamente valioso en la región árida adyacente a la ciudad de Arica, una investigación completa es evidentemente necesaria. Desde hace algunos años se viene realizando una investigación parcial, incluyendo un reconocimiento de suelos, muestreo regular y análisis del agua del Río Lluta mismo y sus afluentes.

El agua del río Lluta es notablemente ácida y como tal, es algo así como una curiosidad científica ya que, en ciertas estaciones, permanece ácida en el transcurso de más o menos 150 km. a pesar de que escurre por un paisaje cuyas tierras son ya sea alcalinas o casi-neutras. El río principal recibe por lo menos cinco afluentes de importancia, todos los cuales fluctúan entre aguas alcalinas y extremadamente alcalinas. También es alimentado por aguas de vertientes, y de éstas, las que han sido examinadas, también han resultado alcalinas. Esta extraordinaria persistencia de la acidez, a pesar del repetido análisis volumétrico de las aguas alcalinas de los sucesivos afluentes, puede significar solamente que existe una poderosa fuente de acidez en el nacimiento del río.

El nacimiento del Lluta se encuentra al pié del monte Tacora, un volcán que se eleva del altiplano a poco menos de 6.000 m. Dos pequeños riachuelos, el Tacora y el Azufre, se unen para formar el río Azufre. El río Azufre tiene un pH que fluctúa entre 1.6 y 2.3 en diferentes estaciones del año. El origen de esta extremada acidez parece encontrarse principalmente en los manantiales calientes que surgen al pié del monte Tacora, más una pequeña contribución de la planta refinadora de azufre ubicada en el nacimiento del río. Es un hecho que esta instalación no es la única causa de la acidez, aunque puede ser la causa de otros factores potencialmente dañinos (ejemplo: sesquióxidos y sustancias afines). Los suelos a lo largo del río Azufre tienen un pH de 7.8 y la vegetación natural no parece ser dañada en ninguna forma por las cortas inundaciones de aguas ácidas.

El lugar donde el ácido río Azufre recibe su primer afluente alcalino de importancia, el Río Colpitas, la mezcla de las dos aguas está claramente marcada por una línea de precipitación blanca. Antes de la confluencia, el río Azufre tiene un pH entre

entre 2.8 y 3.0 (variación estacional); después de recibir el Colpitas, con un pH de 7.5 a 7.8, el pH del río principal se eleva sólo a pH 3.1, 3.2. Se puede decir que este punto de confluencia marca el comienzo del río Lluta.*

Bajo la confluencia del Colpitas y el Azufre, el río Lluta corre por una profunda garganta de lava riolítica, y recibe sólo pequeños riachuelos y algunas vertientes, hasta juntarse con los ríos que riegan los valles agrícolas de Putre y Socoroma. Gran parte del agua de estos últimos valles ha sido usada anteriormente para regar las terrazas-jardines de los caseríos de la precordillera, y tiene un pH entre 7.8 y 7.2. Sin embargo, el río Lluta principal permanece fuertemente ácido. (pH 3.9).

El río Lluta sigue bastante ácido en el lugar donde emerge de la garganta y entra a las tierras aluviales bajas del valle. A la altura de Molinos, la primera de las regiones agrícolas principales, tiene un pH entre 3.5 y 4.2. Poco más abajo del valle, atraviesa una sección con numerosos manantiales. Estos manantiales fluyen todo el año y tienen un pH alrededor de 6.0. Tienen poca influencia en el río principal que fluctúa en este lugar estacionalmente entre 4.2 y 4.7. Gran parte del año el río permanece fuertemente ácido, hasta el mismo punto de entrada en el Pacífico, aunque durante la culminación de la estación seca del altiplano, cuando el curso del río es mínimo, el pH en los pocos kilómetros últimos puede alcanzar, y aún exceder el punto neutro. Este cambio puede muy bien estar relacionado con la presencia de tierras pantanosas alcalinas en el sector bajo del Valle Inferior, y con el hecho de que la mayor parte del agua ha sido empleada para regar el interior del valle. Las tierras pantanosas causarían la reducción de sulfatos a azufre.

Hasta aquí la evidencia sobre la persistente acidez del sistema del río Lluta. Necesitamos enseguida estudiar lo que sucede cuando el agua de regadío derivada del río pasa a través de las tierras agrícolas. Con respecto a este problema, la evidencia es débil porque este aspecto ha sido insuficientemente investigado hasta ahora. Sin embargo, parece evidente que las aguas ácidas del Lluta usadas para regar las arenas profundas, con buen drenaje, los suelos francos y franco-arenosos de la sección

(*) Un afluente más pequeño, a veces denominado el riachuelo Lluta, desemboca en el Azufre, antes que el Colpitas. Este es sólo un pequeño riachuelo que fluye por Villa Industrial y con un pH de 7.7. Al mezclarse con el agua del río Azufre ejerce una influencia negligible en el pH de este último.

central del Valle Bajo, no tienen un efecto notable ya sea en los suelos o en las cosechas. Los suelos tienen un pH natural de más de 7.0; el agua ácida pasa rápidamente a través del suelo, disminuyendo brevemente el pH a cerca de 5.9, pero en un día o algo así, el pH recupera su nivel original. Se sostiene que se ha comprobado el hecho que un regadío prolongado daña los brotes de alfalfa, pero en estas tierras favorables, esto parece ser el único daño ocasionado, cuando se ha usado el agua del río Lluta para regadío. Sin embargo, en el caso de tierras arenosas y de grava muy gruesa, y de tierras de drenaje lento, que contengan mezcla de arcillas, los hechos se presentan en forma algo diferente. En ellas, el efecto total del riego, en un plazo de diez o más años, ha sido bajar el pH natural del suelo de alrededor de 7.7 a 5.1 y 5.5; en pocos casos, especialmente en suelos con arcilla cerca de la superficie, el pH descendió a 4.8. Todo parece indicar, por lo que se sabe hasta ahora, que el agua ácida para regadío causa muy poco daño a las tierras que contienen una alta reserva de partículas minerales finamente divididas. Aún puede haber un estímulo para las cosechas debido a la intemperización de estas partículas finas, y gran parte de la arcilla producida es lixiviada, en el caso de suelos con buen drenaje. Pero en el caso de suelos gruesos y arcillosos, que no ofrecen las mismas facilidades de intemperización para sobrepasar la acidez del agua, se está desarrollando un daño considerable. Valdría la pena realizar futuras investigaciones por medio de Lisímetros.

En vista de la alcalinidad de los suelos de la región, es difícil concebir que la acidez por sí sola sea el único factor causante de la muerte de las cosechas en ciertos suelos. Los análisis de las aguas del río Lluta (5) demuestran que existen otros factores desfavorables. En el sector donde se usa el agua para regadío, estos aspectos desfavorables incluyen el alto contenido de sales disueltas, alto nivel del cation Boro y alto nivel del anion Cloro (Cl-).

En ciertas épocas se producen grandes cantidades de Boro en el río Azufre, y en las aguas del Colpitas (52 ppm. y 34 ppm. respectivamente, en Diciembre 1960); la proporción disminuye a medida que aumenta la distancia del nacimiento del río, hasta llegar cerca de la boca del río, donde de nuevo sube abruptamente (42 ppm. en Diciembre 1960). El contenido de Cloruro de las aguas del Lluta fluctúa entre 10 y 20 me./litro (dependiendo de la estación) en la zona agrícola del valle Bajo. Cualquiera de estos factores, bastante aparte de la acidez, podría ser responsable del daño a las cosechas. La única forma de aislar el factor, o asociación de factores, que afectan la agricultura, sería realizando una serie de ensayos en maceteros y ensayos en el terreno con cosechas seleccio-

nadas, en el mismo valle. También existe la posibilidad de que algún factor tóxico se introduzca en la tierra con el sedimento de arcilla fina en el agua del río. Esta arcilla amarillenta posee su principal zona de depositación en la parte del valle bajo, donde es peor el perjuicio ocasionado a las cosechas. Esto también puede investigarse mediante ensayos en maceteros. Las aguas termales a menudo contienen pequeñas cantidades de arsénico.

Se comprende entonces que en el problema general hay aún varios factores desconocidos. Una solución obvia parece ser la de desviar el curso del río Azufre del altiplano a un valle desértico no cultivado. Es una solución cara pero totalmente realizable, si fuese cierto que con esto se eliminaría del agua el elemento dañino. Con los datos de que se dispone en la actualidad, no se puede estar seguro aún de esto. Sacando totalmente el agua del Azufre del sistema del Lluta, nos quedamos con un volumen reducido de agua fuertemente alcalina, aún excesivamente rica en bario, cloruros, y sales disueltas en general. ¿Sería esto mejor que el actual agua del río Lluta para el desarrollo agrícola en el valle? Ensayos en maceteros podrían ser útiles para dilucidar este punto.

Mientras tanto, muchos agricultores del Valle Bajo están clamando ayuda, y si es posible, alguna solución interina mientras se da término adecuado a las investigaciones esenciales. La mejor solución temporal es probablemente la que ha aportado el Sr. Pourtauborde (6), después de consultar a la Junta de Adelanto de Arica y la Gerencia de la Planta de Azufre. Esta contempla una desviación parcial del río Azufre mediante un canal que conduzca toda el agua del río hacia el oeste atravesando la pampa Titiri, pero permitiendo que las aguas ácidas se filtren en las tierras alcalinas de la pampa y en seguida escurran lentamente hacia la garganta del río Lluta. En esta forma puede neutralizarse en un grado considerable la acidez del agua. En el caso de que el programa de experimentos desarrollados en el valle bajo indicaran que es esencial la desviación del río Azufre, puede entonces cerrarse el canal y alargarse en dirección de Fuquios y la árida Quebrada de Gallinazos. El canal de desviación una vez completado tendría por lo menos 65 km. de largo, y requeriría un considerable trabajo.

La desviación total de las aguas del Azufre se presenta como una solución demasiado drástica. Más aún, talvez esta solución desestime una cualidad potencialmente importante. Como se mencionaba más arriba, la presencia de aguas ácidas en un medio árido y alcalino es una verdadera rareza. Algo que debiera ser explotado en lo posible y no desperdiciado deliberadamente. Nadie

hasta ahora ha efectuado el simple experimento de hacer una titulación de las aguas del río Azufre con las aguas del Colpitas o Putre y ver qué sales son precipitadas y qué proporciones se necesitan para conseguir agua con un pH favorable para la agricultura. Es muy posible que la solución más efectiva y más económica al problema requiera la construcción de sólo dos pequeñas represas que aprisionen las aguas de los ríos Azufre y Colpitas, con facilidades para mezclar determinadas cantidades de cada sistema, que aseguren un curso regular de agua con un pH apropiado para el regadío más abajo en el valle. Podría construirse esta estación de mezcla en una escala suficientemente grande como para permitir una pequeña planta hidroeléctrica en la garganta del río Lluta, el agua ya mezclada podría conducirse por cañerías al lugar de la planta hidroeléctrica. Debe considerarse seriamente esta solución aún antes de comenzar la construcción de un canal más caro, para asegurar la desviación total del río Azufre en el desierto de Gallinazos. Sería criminal desperdiciar deliberadamente agua en una región tan árida a menos que no exista otra solución factible.

Hay aún otro aspecto del problema del valle del Lluta que debe mencionarse aquí y que a menudo se discute en relación con el proyecto del desvío del Azufre. Este se refiere a un proyecto preconizado por el Departamento de Riego, en el cual, el río Cauquena, que actualmente llega a Bolivia, sea decapitado y conducido por un largo canal, y posiblemente un túnel, anexándolo en esta forma al río Colpitas, y por ende al sistema del Lluta, para reemplazar el agua perdida por la desviación del Azufre. Este proyecto, así como el Proyecto de Desviación del Lauca, discutido más extensamente más abajo, es una notable concepción, pero en ninguna forma sirve los intereses de la población Aymará del altiplano. Se olvida con mucha facilidad, especialmente los pobladores más acá del límite Chileno de la puna, que el altiplano está ocupado por agricultores vigorosos y trabajadores que son casi los únicos productores de lana de llamas y alpacas de la República. Más del 60% de las manadas de llamas y alpacas domésticas de Chile pastorean en los pastizales naturales de los "bofedales" del altiplano, en el Departamento de Arica. Generalmente no se sabe que los "bofedales" dependen totalmente de las vertientes y riachuelos, y que el altiplano posee un clima casi tan seco como el del resto del norte de Chile. Ya los trabajos de desviación del Lauca dentro de pocos años disminuirán seriamente el potencial de pasturas del más grande de los bofedales del altiplano, cerca de Parinacota y, el proyecto de desvío del Cauquena, casi con seguridad tendrá el mismo efecto en la única área grande de "bofedales" que queda en el altiplano chileno. Esto constituiría una destrucción consciente de un valioso recurso natural de mérito comprobado para la economía de la República,

con el fin de satisfacer un grupo mucho más pequeño de agricultores, cuyos productos muy posiblemente estén constituidos principalmente por alimentos de subsistencia, para la población de la ciudad de Arica.

El segundo valle de tierras bajas de fácil acceso desde Arica presenta un conjunto de problemas muy diferentes con respecto al desarrollo agrícola. Las vertientes naturales de este valle alcanzan a unas 2.000.000 has. y pocos de los riachuelos que alimentan el sistema del Azapa penetran de hecho en el altiplano. El Proyecto de Desviación del Lauca, que fué presentado por primera vez hace algunos 100 años, aumenta el área de desagüe a unas 500.000 has., y las proposiciones de hacer pasar por túneles y extraer el agua del Lago Chungará, resultarían en una área regada total de alrededor de 2.647.500 has. Al pasar del altiplano al nacimiento del sistema del Azapa, el agua adicional operará una planta hidroeléctrica que será muy valiosa para el Departamento de Arica. Por consiguiente, el problema del valle de Azapa no es el de obtener una adecuada provisión de agua de buena calidad, sino de cómo utilizar mejor la cantidad extra cuando alcanza el valle bajo de Azapa.

El Problema del Valle de Azapa

En su forma simple, este problema fué formulado en la introducción precedente. Hasta hace poco el esquema preciso de los suelos del valle bajo de Azapa era desconocida; y con el fin de descubrir esta información esencial se llevó a cabo apresuradamente un reconocimiento semi-detallado de suelos. El Proyecto de Desvío del Lauca ha sido caro, y es fundamental que el agua derivada de este proyecto sea utilizada al máximo; con preferencia para la producción de cosechas que sean de beneficio para la economía del país. Esto significa que las cosechas

deberán proveer otras necesidades además de la mera satisfacción de las necesidades domésticas de la ciudad de Arica. En la actualidad, el único producto exportable que se cultiva en el valle son las aceitunas, muchas de las cuales provienen de árboles viejos plantados en el tiempo de la colonización española. Es importante poner de relieve esto para evitar la tendencia a la formación de un punto de vista político estrecho al planear el uso de la tierra recién regada en el valle de Azapa. La influencia de los habitantes de Arica será ciertamente fuerte, y ellos tienden a sentirse habitantes de un oasis, separado un tanto del resto de Chile. No será suficiente cultivar solamente hortalizas en las tierras recientemente disponibles para la agricultura, sino que debe tratarse de cultivar frutas, fibras, productos aptos para jugos, y especias que en la actualidad tienen que traerse a Chile desde el extranjero. Probablemente esta idea no va a fructificar entre los habitantes de la ciudad, quienes se han hecho especialistas en el arte de importar.

El estudio de suelos deja ver que existen alrededor de 5.000 hectáreas de tierra plana en el Valle Bajo de Azapa que pueden ser fácilmente regadas. Desgraciadamente, dos quintos de esta tierra está constituida por suelos muy poco profundos y extremadamente pedregosos con un escaso valor para la agricultura en el momento actual. Mediante una sencilla técnica se podría profundizar estas tierras y hacerlas aptas para el cultivo. Esta técnica se menciona más en detalle más adelante. Según las normas extranjeras, no puede clasificarse ningún suelo del valle como de primera clase para el regadío, sin embargo, una proporción regular puede clasificarse entre los suelos de segunda y tercera categoría. Todos los suelos son alcalinos; algunos muy alcalinos y algo salinos, y muchos son calcáreos en las estratas bajo la superficie. En la parte superior del Valle Bajo de Azapa, predominan los suelos arenosos y los areno-francos, cambiando gradualmente hasta predominar los suelos francos y franco-areno-arcillosos, y aún algunas arcillas en el límite inferior del valle. Las partículas predominantes son talvez las arenas finas y el limo, comunes a la mayoría de los suelos del valle. Con este conjunto de propiedades, la naturaleza de las aguas de riego viene a ser altamente significativa, ya que un agua muy alcalina aumentará aún más el nivel de las sales alcalinas en las tierras, y aguas con mucho limo tenderán a bloquear los espacios de los poros finos que existen. Desgraciadamente no hay disponibles análisis recientes de las aguas del valle del Azapa, y aparte de una muestra aislada del río Lauca Superior recogida en el altiplano, existen muy pocos datos verificados de las aguas del sistema del Azapa. Esto es un hecho desafortunado porque la evidencia en el terreno sugiere que los suelos han sufrido cambios con el riego, y el cambio no siempre es favorable para la producción agrícola continuada.

Los suelos regados más antiguos son los de la parte inferior del valle, y el agua para el regadío se obtiene bombeando los pozos que extraen aguas subterráneas en la grava del piso del valle. Esta agua parece estar más o menos desprovista de limo y arcilla, pero a medida que pasa de una propiedad a otra del valle, adquiere una cantidad considerable de material sólido fino. Esta agua es alcalina, y al evaporarse deja un polvo blanco y cristalino. El agua del río que se usa cuando éste está inundado, está muy cargada de arena y arena fina cuando está en crecida fuerte, y de arena fina y limo cuando escurre suavemente. En algunas épocas del año al pasar el agua del río por los suelos deja una fina espuma de arcilla. En muchos de los suelos regados se notó una deterioración más o menos extendida de la estructura superficial del suelo, así como un marcado endurecimiento, o formación de costras, en muchas de las tierras regadas. También se observó cambios del subsuelo en algunos lugares; y en un caso, se sospecha que la sequía de un naranjal estaba en relación con la deterioración de la aireación del subsuelo. Existen pequeñas indicaciones de cambios progresivos en los suelos, que con el tiempo pueden tener bastante importancia para el desarrollo agrícola del valle de Azapa. El análisis de la única muestra de agua del río Lauca, recogida sobre el canal de desvío, demostró la existencia de condiciones alcalinas muy marcadas (pH 8.5), con porcentajes de magnesio y carbonatos exageradamente altos.

Por consiguiente carecemos de datos químicos tanto para los suelos como para las aguas del valle de Azapa. Se están recogiendo muestras de suelos, pero hasta ahora no se ha contemplado ningún programa de muestreo de aguas. La ausencia de tales datos, recargará el programa de experimentos efectivos en el terreno. Recientemente se ha seleccionado un recinto para la estación experimental del valle, y se han elaborado programas de experimentación para esta estación así como trabajos de Extensión Agrícola por todo el valle. Aparte del maíz, jorótos y ciertos otros vegetales, muy poco se ha escrito sobre el cultivo de granos; entre los frutales, sólo el de los olivos parece entenderse bien. En siglos pasados, el Valle de Azapa era famoso por sus grandes extensiones de ají (7) y algodón. Desde tiempos pre-coloniales se ha cultivado la alfalfa como forraje para animales de transporte. La extensión actual de los cultivos de alfalfa no es muy grande, sin embargo, nunca se realza lo suficiente la importancia de este producto para mejorar los suelos, construir la estructura de los mismos, incorporar materia orgánica y mantener fresca su superficie. Hasta la fecha, casi no se han experimentado nuevas clases y variedades de alfalfa; ni con ninguna de las otras leguminosas y gramíneas que podrían crecer bien en el área regada. Partes del valle de Azapa, como también ciertas partes del valle de Lluta, podrían muy bien dedicarse a la producción lechera si se pudiera producir con el tiempo la mezcla adecuada de pastos. Este es un

aspecto futuro de la agricultura que necesita considerarse cuidadosamente porque significará la introducción de productos agrícolas que estarán en competencia directa con los productos importados. Es probable que por bastantes años todavía habrá más individuos dedicados a importar productos lecheros que a producirlos en la localidad, y la presión local puede muy bien ejercerse contra el productor de artículos lecheros. En muchos de los huertos de olivos más antiguos, la tierra entre los árboles podría mantenerse más o menos permanentemente cubierta de alfalfa, y vacunos o cerdos podrían pastar en el área. Muchas de estas huertas tienen grandes cantidades de tierra rica que podría tener un uso más intensivo sin dañar la producción de aceitunas.

El nuevo mapa de suelos muestra claramente que el esquema de desarrollo de la tierra regada recién disponible debe seguir ciertas directrices. Muestra la situación de las tierras mejores y sugiere asimismo la distribución de la red de canales y caminos de acceso. Se necesitarán estudios futuros de reconocimiento de suelos y medidas de conservación de suelos de las granjas individuales, y se están tomando las medidas del caso para asegurarse que esta ayuda técnica esté disponible cuando el desarrollo alcance esta etapa. Parecen existir dudas respecto a las tierras que deberán tener prioridad en el desarrollo. En este sentido no cabe duda que deberían hacerse producir primero las del centro del valle, que son suelos de mejor textura, antes de intentar cultivar los suelos arenosos del valle superior que son más difíciles y exigen más agua; aunque estos últimos puedan encontrarse más cerca de las aguas por canales completos. Un gran número de los suelos arenosos de la sección superior del valle deberían estar cultivados con alfalfa la mayor parte de su vida agrícola. En algunas de estas tierras arenosas, puede tener éxito la práctica del riego por aspersión.

Un informe completo de los suelos y sus propiedades agrícolas, (con la información actual y pasada que se ha podido recoger) ha sido preparado en colaboración con los Sres. Meléndez y Astudillo, por lo que está demás repetir la información en este artículo. Se espera que la Junta de Adelanto de Arica, que originalmente había solicitado este estudio, publicará el boletín de suelos, con mapas de suelos y otros mapas derivados de ellos.

Una contribución importante al desarrollo agrícola del valle de Azapa sería la recuperación de parte del suelo pedregoso y poco profundo de las secciones central y superior. Es probable que esto pueda efectuarse con relativa facilidad mediante el empleo de un bulldozer pesado que preparara la tierra pedregosa en compartimentos alineados a cada flanco de la cama del río. Durante el período de inundación, cuando el agua del río está muy cargada de

arena y sedimento erosionado de las faldas de la cordillera, el agua puede desviarse mediante represas provisionarias y echarse a estos compartimentos sucesivamente. El proceso o colmataje, puede continuarse cada estación hasta que se haya atrapado en toda el área una profundidad suficiente de tierra. Las observaciones efectuadas durante el período reciente de inundaciones (Febrero, 1961) indican que en las condiciones actuales, el río sería capaz de llenar los compartimentos en muy pocos años. Está por verse si la barrera construida al término superior del valle por el Departamento de Riego para desviar el agua en su canal cambiará la situación. Deberán efectuarse observaciones sobre las nuevas condiciones del sedimento producido por esta barrera, durante el próximo período de inundaciones, y éstas determinarán la posibilidad de restaurar la tierra mediante trampas de sedimento.

Un proyecto de restauración de la tierra de este tipo implica la existencia de algunas medidas de firme control del movimiento de toda el agua en el valle Bajo del Azapa. Esto implicará esencialmente la creación de una Junta de Vigilancia del Agua del Valle de Azapa, creada con poder para alinear y profundizar un determinado canal de río (virtualmente canalizar el río), con poder para aprobar planes, y supervisar el funcionamiento de los canales laterales de regadío, con poder para construir zanjás adecuadas para el drenaje que remueva el agua sobrante, y todas las obras subsidiarias esenciales para un uso eficiente del agua de riego. Esta Junta deberá tener un cierto grado de independencia y situación legal en la localidad. Deberá componerse principalmente de miembros elegidos, y pagados por un impuesto a la propiedad. Esto será decidido después de haber evaluado la productividad real y potencial de los suelos regados. Una Autoridad similar para el Uso de la Tierra y Agua debería establecerse para el valle de Lluta.

Con tanto interés local en el desarrollo de los suelos de los valles de Lluta y Azapa, no es sorprendente que el resto de los agricultores de la región sean descuidados hasta cierto punto. Lo que sorprende es que este descuido no se haya producido recientemente, sino que exista desde hace mucho tiempo. Durante el examen de los suelos de la pre-cordillera y región del altiplano, se evidenciaron dos cosas: la presencia de una ciudad en rápido crecimiento en la costa que atrae a los agricultores, especialmente a la generación joven, aunque fuese para desempeñarse en ocupaciones de segunda y

tercera categoría; y en segundo lugar, muchos agricultores no tenían conciencia de que existiera un servicio Gubernamental que tenía como finalidad el de ayudarlos en sus problemas. Es un hecho que muchas de las aldeas de la precordillera no son fácilmente accesibles, pero eso no es culpa de los agricultores que por siglos han estado produciendo cosechas, utilizando casi cada gota del agua disponible dondequiera que se encuentre. Es verdaderamente impresionante como dondequiera se encontraba un poco de agua, los agricultores antiguos de la región han creado un suelo bueno para la agricultura, de la tierra existente, que está lejos de ser ideal. En su mayor parte, el método de cultivo es una especie de "cultivo en terrazas": el área total en producción no es grande, pero la producción por hectárea es enormemente alta. Por consiguiente, en la pre-cordillera, nos encontramos con un problema nuevo que involucra una producción decreciente y asociada a una disminución de la población campesina.

El problema de mantener la producción agrícola en la pre-cordillera

Según se decía anteriormente, el problema es esencialmente de naturaleza sociológica: el abandono gradual de las tierras heredadas y un sistema de vida esforzado pero seguro, por las deslumbrantes luces de la ciudad, con una vida fácil pero insegura. Sin embargo, este problema tiene muchas otras implicaciones.

Por muchos años la gente de los valles pre-cordilleranos se encontró en una posición clave entre la gente del altiplano, por un lado, y la gente de los valles bajos y aldeas de la costa, por el otro. Todos los senderos principales convergían a estas aldeas en el alto del valle, o divergían de ellas, y en esta forma siempre había medios al alcance para vender la producción agrícola variada de sus huertos. En realidad ellos constituían los antiguos centros comerciales. Retuvieron su importancia aún hasta después de la Conquista Española por encontrarse las rutas situadas entre las ricas minas del interior y los centros de embarque de la costa; pero cuando decayó este tráfico, también declinó su prosperidad. Hoy permanecen como aldeas agonizantes, irrevocablemente ligadas a sus derechos de agua y a sus miles de hectáreas de suelos cortados en terraplenes, junto a los cerros. Han dismi-

nuído sus esfuerzos agrícolas y sólo cultivan lo necesario para su subsistencia.

Las terrazas utilizadas para la producción agrícola son, en su mayor parte, de origen antiguo, habiendo sido construídas en épocas en que las vertientes eran algo más abundantes. Poco a poco las hileras superiores de las terrazas tuvieron que abandonarse por falta de agua. No obstante, en muchas aldeas, hay en la actualidad más agua disponible que terrazas cultivadas; la disminución del agua no constituye la única causa de la decadencia de la producción agrícola de la pre-cordillera.

Durante siglos los suelos han sido cultivados con gran cuidado. Después de cada cosecha se aplican a la terraza grandes cantidades de estiércol de oveja, y a las plantas mismas se les proporciona fosfato en forma de guano, durante el crecimiento. De este modo, los suelos pueden producir grandes cantidades de cosechas de todos los tamaños y condiciones. Por lo tanto no se puede culpar a los suelos por la disminución de la producción.

De cuando en cuando se han hecho esfuerzos por tener cosechas que puedan 'exportarse' fuera de la región precordillerana. Las cosechas básicas son todavía el maíz, papas y alfalfa, pero éstas están destinadas en gran parte al consumo local. En esta región prácticamente sin caminos, es extremadamente difícil encontrar cosechas que puedan sobrevivir a un largo viaje por mula, pagar los gastos de todo el trayecto al mercado, y aún dejar una ganancia líquida razonable. En la actualidad algunas regiones pueden cultivar con éxito el orégano, pero sólo constituye una ventaja económica cuando el precio de este artículo está relativamente alto. El orégano es una hierba aromática usada en la fabricación al por mayor de sopa en polvo, y naturalmente el precio del mercado fluctúa ampliamente. A menudo se obtiene una buena cosecha, pero debe ser abandonada porque hay una sobreproducción en el mercado y el precio que se paga es demasiado bajo. En igual forma se 'exporta' alfalfa de la precordillera cuando hay escasez de alimento en los valles bajos, pero éste también es un mercado inseguro y tenderá a decrecer a medida que los valles adopten métodos de producción más eficientes. El problema de estas colonias precordilleranas es por lo tanto, en parte, una búsqueda de cosechas apropiadas para la venta. Si la región va a permanecer sin caminos de acceso, se restringe considerablemente la variedad potencial de cosechas; si se contempla la construcción de caminos, la situación se facilita considerablemente.

En las actuales circunstancias, el tipo de cosechas que podría cultivarse con ganancia se limitan a las de poco volumen, alta densidad y alto valor comercial y, al mismo tiempo, adecuadas a las

condiciones del clima de la región. Uno piensa inmediatamente en frutas de corteza dura, tales como nueces, pero probablemente existen muchas otras que podrían experimentarse en la región. Esta experimentación, junto con la introducción de nuevas variedades de alfalfa, es del dominio del Ministerio de Agricultura, sin embargo sólo algunas pocas colonias han sido visitadas recientemente por los agrónomos de esta organización. Se espera que los Servicios de Extensión Agrícola de este Ministerio, renovará su interés en este grupo capaz y esforzado de agricultores chilenos.

Aún más apartado de la ciudad de Arica, en distancia, tiempo, y ayuda técnica se encuentra el Altiplano, cuna de los agricultores Aymarás, y el único centro grande de producción de lana en Chile, aparte de la Provincia de Magallanes. De acuerdo al Censo Nacional Agrícola Ganadero de 1955 (8), casi el 60% de todos los 'auchenidos' (Llamas y alpacas) de Chile, se encuentran en la Provincia de Tarapacá y el 95% de éstos pastan en el altiplano del Departamento de Arica. Solamente en la región de Gral. Lagos, hay más de 22.000 cabezas, produciendo un término medio de 2 quintales de lana por animal. También hay un número considerable de ovejas en el altiplano. En su mayor parte todos estos animales son de propiedad de grupos familiares Aymarás que comparten la tarea de cuidar de ellos al trasladarlos de un pastizal a otro. Los principales pastizales son los 'bofedales', practicándose un sistema indeterminado de rotación, para permitir a las plantas forrajeras recuperarse entre un período de pastoreo y otro. El clima es semi-árido. El crecimiento de las plantas se vé restringido por el déficit real de humedad en el suelo durante la mayor parte del año, y las temperaturas muy bajas en la noche, que ocurren casi todo el año. Las únicas áreas del territorio con una producción adecuada de forraje para alimentar grandes cantidades de animales son los 'bofedales'. Estos constituyen una asociación vegetal pantanosa tipo 'cushion bog', casi totalmente de-

pendiente de las aguas de vertientes para su crecimiento. Probablemente los 'bofedales' proveen el 80% de los pastizales del altiplano. Sólo durante los meses de Febrero, Marzo y parte de Abril, correspondiendo a la llegada de las 'lluvias del Invierno Boliviano', (9) el resto del altiplano se cubre de pastizales alternados en la forma de yerbas y pastos de vida corta. Algunos pastos perennes de la especie Stipa, bajos y en forma de penachos, también aparecen en este período, pero la mayor parte del resto del año, se secan y probablemente no son muy palatables al ganado. La lana es el principal producto agrícola de la región y los habitantes han vendido lana por muchos años a compradores permanentes de Arica. Antiguamente existía un intercambio constante de lana, paños tejidos, y carne seca, por maíz, trigo-mote, y fruta seca producida por los habitantes de los valles precordilleranos y tierras bajas (10). El problema del altiplano es encontrar un medio de estimular a estos agricultores aymarés a participar más activamente en la economía de Chile. Este problema se tornará aún mucho más urgente si se distraen más recursos de agua del altiplano para ayudar a los agricultores de los valles bajos.

El problema de utilizar los recursos de suelos del altiplano

Los suelos del altiplano se derivan en gran parte de arenas volcánicas y, bajo las condiciones de clima imperantes, han sido muy poco intemperizados o lixiviados, de modo que aún contienen una elevada reserva de nutrientes para las plantas. Es el clima, - especialmente la sequedad de él, lo que restringe principalmente su uso. El personal de los ferrocarriles, apostado en el altiplano, en la vía de Arica a La Paz, saben que, protegiéndolos del viento y regándolos ocasionalmente, algunos vegetales tales como rábanos, lechugas y cebadas pueden crecer la mayor parte del año. En cualquier época del año pueden ocurrir fuertes heladas nocturnas (con temperaturas hasta de -20° C) constituyendo un peligro

constante para los hortelanos. A pesar de la escasa evidencia disponible podría afirmarse sin mayor riesgo que el altiplano no es adecuado para cultivos agrícolas que requieran labranza, aún cuando se pudiera discurrir los medios de proporcionarles abrigo y riego.

Se espera más de la posibilidad de mejorar el cultivo de pastos, elevando la capacidad de pastoreo, con la introducción de pastos nuevos con la esperanza de que éstos se adaptarán mejor a las rigurosas condiciones del clima. Se debería experimentar especialmente con pastos anuales que germinen y crezcan muy rápidamente, durante la corta estación de las lluvias. También hay algunas leguminosas con las que valdría la pena hacer ensayos. Entre los pastos perennes, se debería intentar la introducción de especies nuevas más nutritivas (de Rusia, Nueva Zelanda y Canadá del Norte), que con sistema de raíces más profundos permitan un mejor uso del agua del suelo, y con sus abundantes copetes protejan las hojas nuevas de las heladas. Se debería también efectuar ensayos con árboles muy resistentes al frío con el fin de ver si podrían utilizarse como áreas de resguardo. El problema de mejorar la agricultura del altiplano consiste esencialmente en cultivar un paisaje de estepa y en este campo los Rusos poseen la técnica más avanzada. El primer requisito en el altiplano es la creación de una estación experimental, se ha seleccionado un recinto provisorio en MICITUNI, junto al río Lauca.

Al mismo tiempo se podría hacer bastante con los recursos naturales existentes en la región. Los agricultores del altiplano han desarrollado una técnica para mantener el pastoreo en los bofedales mediante la construcción de canales que conducen el agua lejos del sitio mismo de los manantiales, regando en esta forma la periferia del pantano, que es lo primero que se seca y desagando simultáneamente los alrededores de la vertiente, para impedir que los bofedales se hielen excesivamente y el libre movimiento del agua hasta avanzado el día. En muchas áreas pantanosas, la extensión de este principio, y aún tal vez la construcción de terrazas, podría aumentar considerablemente el área de pastoreo de los 'bofedales'. Podría realizarse un estudio de los hábitos de pastoreo de los animales con el fin de descubrir cuáles son las plantas más sabrosas y nutritivas, y luego tratar de aumentar la proporción de éstas en el césped natural.

El conocimiento del 'manejo de pasturas' es bastante alto, sin embargo podría hacerse mucho más para mejorar la producción de lana seleccionando razas de animales de elevada capacidad productora y aplicando en general los principios genéricos corrientes para producir mejores rebaños. Se podría educar a los agricultores más jóvenes en este sentido. El Gobierno de Chile ha gastado considerables sumas de dinero en la construcción de edificios escolares muy buenos en varios centros del altiplano, y el grado de inteligencia de los

escolares es alto. Estos niños van a crecer para ser meramente agricultores alfabetizados, o pueden algunos de ellos recibir entrenamiento basado en principios agrícolas valederos, de modo que ellos puedan iniciar la práctica de nuevas técnicas agrícolas en el altiplano?

En esta forma, el problema del altiplano está lejos de ser resuelto. Actualmente hay muchos factores desconocidos y la próxima década deberá dedicarse a realizar cada vez más experimentos en materias agrícolas en la región, con el objeto de alcanzar un nivel de producción de pastos mucho más alto, - tal como el que se está efectuando en la actualidad en la Provincia de Magallanes.

El quinto y último de los principales problemas de la agricultura que existe en la Provincia de Tarapacá, se refiere al potencial agrícola de las tierras del desierto. Estas tierras ocupan más de las tres - cuartas partes de toda la provincia, y por consiguiente es importante saber más acerca de sus posibilidades y limitaciones. Estos suelos del desierto se clasifican en dos grupos principales: los que son el resultado directo de antiguos sedimentos marinos, y los formados por materiales, de origen más reciente. Los primeros, por lo general, son de textura más áspera y considerablemente impregnadas de sal del material de origen; los últimos fluctúan desde texturas arcillo-limosas finas a gravas y si están impregnados con sal, son de origen relativamente reciente. Por supuesto el desarrollo de cualquier tipo de suelo desértico, depende totalmente de la provisión de agua adecuada y conveniente; sin embargo, los problemas económicos por solucionar no son idénticos en ambos casos.

El problema de la restauración de los suelos del desierto

Los materiales de este tipo se presentan principalmente en la costa norte de la Provincia de Tarapacá, donde el desierto forma llanuras anchas, altas y suavemente onduladas, disectados profunda-

mente por valles de escarpadas laderas. No existen tierras más altas en la vecindad, de donde podrían haber sido erosionados materiales más jóvenes y, aparte de sectores con dunas de arena, transportada por el viento, el paisaje permanece como quedó después de la retirada del mar. Se encuentran materiales semejantes en las tierras bajas de la costa, al norte de Arica, y se extienden por el límite Peruano, pero en estos lugares bajos, los lechos marinos están cubiertos, hasta cierto punto, por materiales arenosos y limosos, provenientes de sistemas fluviales actuales o pasados.

En el estricto sentido de la palabra, casi no existe suelo; sólo los pocos centímetros superiores evidencian procesos de formación de suelos, y el desarrollo de suelos aptos para la agricultura, partiendo del material existente, depende del uso de técnicas que profundicen rápidamente la delgada capa edafizada hasta los sedimentos originarios. El principal obstáculo para el logro de este objetivo, es el hecho que los sedimentos están impregnados considerablemente de sal. Las experiencias iniciadas por CORFO en "La Concordia" (y las experiencias previas de CORFO en "La Chimba", en la Provincia de Antofagasta), demostraron que es relativamente fácil remover la sal por lixiviación. Sin embargo, este proceso requiere agua en abundancia y de un grado de pureza razonablemente alto. Se probó que el método más apropiado para agregar agua a la tierra es el riego por aspersión. Donde los sedimentos se presentan notoriamente laminares, con alternancia de materiales gruesos y finos, es probable que la lixiviación sea irregular; ya que podría pasar el agua de una capa a otra a través de las hendiduras, sin lavar totalmente la sal de las capas superiores.

Los materiales lavados están entonces listos para ser transformados en suelos. Tal como quedan después de la lixiviación, no son en absoluto apropiados para iniciar su cultivo, ya que están prácticamente desprovistos de vida. Frecuentemente carecen totalmente de materia orgánica, la fuente de energía de la vida en los suelos y, a menudo, les falta los elementos nutritivos fácilmente asimilables. Las experiencias en "La Chimba" están demostrando que la manera más efectiva de transformar estos materiales en suelos, es sembrando alfalfa repetidas veces. Cuando el material ha incorporado suficiente materia orgánica y la provisión natural de elementos nutritivos para las plantas se ha hecho más abundante, producidos por la acción de los ácidos orgánicos naturales sobre la elevada reserva mineral del material, entonces ocasionalmente pueden hacerse cultivos. La etapa esencial del proceso, es el largo período de cultivo de una planta buena para mejorar suelos tal como la alfalfa que es, sin duda, muy apropiada para este objeto, bajo las condiciones del Norte de Chile.

La importancia de incrementar el tenor de materia orgánica del suelo, está en parte, relacionado con el problema de elevar el conte-

nido coloidal del suelo. Los coloides del suelo son los que proveen las superficies para producir los intercambios químicos y sirven también para proteger la tierra contra los cambios internos demasiado rápidos. Mientras más coloides orgánicos se introduzcan en la tierra, más se favorecerá el crecimiento de las plantas. Deben ser utilizados todos los abonos disponibles, tal como el producido por la Planta Municipal de abonos; las algas marinas y el "compost" de vegetación pantanosa preparados en la localidad, son igualmente valiosos. La principal dificultad con el uso de los residuos orgánicos como fuente de coloides para el suelo es que, bajo las altas temperaturas diurnas que prevalecen en el Departamento de Arica, gran parte de la materia orgánica se pierde por oxidación. No existe una forma de evitar esto, y muy poco puede hacerse para aminorarlo, excepto manteniendo los suelos tan frescos como sea posible. Conservar una gruesa capa de piedras en la superficie del suelo ayuda a mantenerlo fresco, pero esto no es factible excepto con árboles.

Una alternativa de recursos de coloides para el desarrollo de los suelos arenosos y desérticos, es traer arcilla de otros lugares. En muchos de los valles bajos cerca de Arica, hay pequeñas áreas de suelos relativamente ricos en arcilla. Algunos de estos suelos son fangosos, y cuando se secan, la tierra excavada podría ser transportada y mezclada con las arenas del desierto restauradas por el riego. En Rusia se ha demostrado (11) que una capa de arcilla colocada de 30 a 40 cm. bajo la superficie de la tierra ayudó grandemente a mantener la fertilidad y humedad. En dondequiera exista una fuente de arcilla a una distancia razonable del área en desarrollo, esta técnica debe ser aplicada de todos modos.

Las observaciones anteriores se aplican por igual tanto a los suelos desérticos derivados de antiguos sedimentos marinos, como a los materiales más nuevos. La principal diferencia yace en el campo económico, porque los del primer grupo son más difíciles y costosos de lixiviar, y el producto resultante es a menudo muy pedregoso y con grava, y muy ávido de agua cuando se riega. A menos que haya agua en abundancia, o el área en tratamiento sea muy pequeña, la restauración de este tipo de suelo desértico puede resultar, muy probablemente, antieconómico en la actualidad. A este respecto, la restauración de los suelos desérticos cerca de San Martín o Central, en el transandino Arica - La Paz, no es considerada factible, aún cuando se pudiera conseguir agua en abundancia. Tal vez podrían desarrollarse jardines, pero no fincas.

Por otra parte, donde existe una proporción razonable de suelos derivados de sedimentos más jóvenes, o donde los suelos caen en esta clasificación, hay posibilidad de realizar una restauración económica de las áreas desérticas. Las experiencias de CORFO en "La Concordia"

y "La Chimba" tratan de verificar este punto. Los suelos sometidos a experimentación fluctúan desde las arenas pedregosas a limos-arenosos, y muchos de ellos están fuertemente impregnados de sal, producida como resultado de procesos locales y no geológicos de carácter general, como en el caso de otros grupos de suelos desérticos. Se han llevado a cabo experiencias similares en el Perú, sobre el mismo tipo general de paisaje, pero con una diferencia importante, y es que los suelos Peruanos tienen un contenido mayor de limo y arcilla, y por consiguiente están mejor provistos con un mecanismo natural para retener el agua. Más al norte, en el Perú, se han restaurado suelos desérticos por medio del riego con agua que contenía limo (12). Todas estas pruebas sugieren que, aún cuando se mezcle una proporción muy pequeña de limo y arcilla, con las arenas del desierto, es muy probable que esto tenga un alto significado económico.

Si este hecho es tan importante como se sugiere en la actualidad, deberíamos tratar de descubrir en el desierto, si existen algunas áreas de arenas con limos, en lugares donde es probable que exista agua freática en cantidad adecuada. Las áreas principales de arena con limo en la Provincia de Tarapacá se presentan en la Pampa del Tamarugal; una llanura desértica más bien plana de alrededor de 200 km. de largo por 10 a 20 km. de ancho, cubierta antiguamente en parte, de bosques abiertos formados especialmente por Tamarugos (*Prosopis strombulifera*). En la Pampa del Tamarugal, el panorama de los suelos muestra una graduación muy regular, las arenas y arenas con grava se presentan en una franja cerca del pié de los Andes, variando gradualmente a través de la llanura a arenas finas, arenas limosas, franco-limosas, franco arcillo-limosas, hasta llegar a suelos arcillo-limosos. Estos últimos se han depositado en "áreas lacustres" al pié de los flancos interiores de la cordillera de la costa. Estas "áreas lacustres" son igualmente zonas de considerable acumulación de sal, conocidas como "salares". La transección de las texturas también coincide muy de cerca con la elevación en la capa freática, y con un aumento constante de la salinidad del suelo.

La parte de esta pampa de más interés para los proyectos de habilitación es obviamente la franja donde los suelos son razonablemente, pero no excesivamente, limosos; donde la capa freática no está demasiado profunda y, donde, ni el suelo, ni el agua subterránea son excesivamente salinos. Debería realizarse un estudio de las condiciones del agua freática y un amplio estudio del esquema de los suelos, en una franja de aproximadamente 5 km. de ancho por 100 km. de largo, (casi al centro de la Pampa del Tamarugal), con el fin de confirmar estas observaciones preliminares. El punto céntrico para el comienzo de este estudio debería estar al otro lado de la Quebrada de Tarapacá.

Es interesante descubrir que esta franja de suelo, potencialmente valioso, coincide más o menos con los límites del antiguo bosque de tamarugos, y también está dentro de la zona que, en épocas pasadas, fué usada para la agricultura por los antiguos agricultores Indígenas. Estos empleaban una técnica que comprendía el proceso de cavar la tierra en cuadrados ("canchones"), a una profundidad de dos o más metros. En estas fosas grandes hacían sus cultivos, y el fondo de ellas estaba cerca de la capa freática natural. Esta técnica especializada también estaba ampliamente difundida en las tierras bajas y desérticas del Perú.

Aún existen algunos antiguos tamarugos en el desierto, y en la superficie del suelo bajo los árboles hay semillas en abundancia, pero no se observan en germinación. Las excavaciones hechas bajo uno de estos árboles demostró que la zona de raíces original del árbol se encontraba a un metro o más bajo la actual superficie, y que el árbol se había ido enterrando cada vez más con arena y limo con el correr de los años. La capa freática natural se encuentra ahora tan lejos de la superficie que ninguna semilla en germinación en la superficie tendría una oportunidad de que sus raíces llegasen a la arena húmeda antes que la superficie se seque. Al examinarse los suelos se encontró que la humedad comenzaba más o menos a 180 cm. aunque la verdadera capa freática está probablemente a otros 2 m. más abajo. El agua obtenida de los manantiales cercanos es levemente salina, sin embargo la humedad condensada en la arena del subsuelo, bajo el árbol, aparecía libre de sal. Si esta humedad fuese producida por acción capilar se supondría que sería salina; posiblemente representa humedad derivada de la lluvia y aún moviéndose a unirse con la verdadera capa freática.

Aunque la Pampa del Tamarugal es un verdadero desierto, se dan algunas precipitaciones ocasionalmente. A menudo esto se manifiesta en truenos sorpresivos y agudos; pero en algunos años se experimenta un intervalo de lluvia más prolongado. No existen huellas de lluvia en el área, pero las pruebas de los suelos muestran que hay una repetida acumulación de limo aluvial y arena fina. Las laminaciones del terreno muestran tres tipos de acumulación: intervalos de fuerte sedimentación aluvial cuando las particulares son principalmente limo, arena fina y un poco de arcilla depositada en capas hasta de 20 cm. de espesor; intervalos de sedimentación de limo aluvial débil cuando las partículas están constituidas principalmente por limo, y arena fina, depositados en capas muy delgadas de menos de 1 cm. de grosor. El orden en que ocurren estas capas varía de un lugar a otro, pero en todos los perfiles de suelos hay abundante evidencia para probar el movimiento periódico del agua a través de la superficie del desierto.

Se considera que de todos los suelos de la Provincia de Tarapacá, los de la Pampa del Tamarugal ofrecen las mejores posibilidades para su restauración.

Se hizo una visita al famoso oasis de Pica. Aquí la agricultura florece en suelos desérticos que son casi pura arena. Pica está situado en las faldas inferiores de los Andes, a una altura de 1.350 m., donde las arenas movidas por el viento han suavizado el frente de los cerros y enterrado un antiguo paisaje disectado. Pica se sitúa actualmente sobre una quebrada enterrada, y el agua que una vez corría por esta quebrada, emerge ahora en la arena en forma de vertientes. El agua es dulce pero levemente tibia y tiene un pH de 7.1. La nivelación de la arena en compartimentos poco profundos, y el regadío con el agua de las vertientes ha hecho posible el desarrollo de huertos de naranjas, limones y mangos; también se está cultivando alfalfa. Es posible que un estudio de la hidrología en el flanco este de la Pampa del Tamarugal, descubra otros manantiales ahora enterrados en la arena movediza, lo que permitiría el desarrollo de otros centros hortícolas. Las fotos aéreas de la región deberían ser re-examinadas con esta posibilidad in mente.

Al considerar las áreas potencialmente aptas para el desarrollo agrícola en la Provincia de Tarapacá, uno se vé continuamente forzado a volver al problema de la existencia desconocida y no comprobada de aguas freáticas. Evidentemente se necesita más información sobre este recurso natural antes de emprender estudios de suelos más detallados. Solamente en el caso de la Pampa del Tamarugal existe una cantidad razonable de pruebas (13), (14), referentes a la naturaleza y cuadro del curso del agua freática. Aún en esta localidad, se necesita efectuar mayores exploraciones en el lado oriental y alto de la pampa, y también en la franja central que es muy importante y donde se encuentran los suelos de mejor textura para el desarrollo agrícola. Los datos existentes sólo sugieren que pueden encontrarse corrientes subterráneas de agua freática útiles, en las profundidades de esta franja.

Igualmente hay una considerable escasez de informaciones publicadas sobre experiencias agrícolas anteriormente realizadas en la región. Una vez más, los suelos de la Pampa del Tamarugal fueron extensamente usados

para la agricultura en los días en que las minas de salitre de la región estaban en su apogeo. Se cultivaban verduras y frutas para proveer a los mineros, utilizando agua algo salobre de los pozos de poca profundidad, y aplicando ésta a los suelos habiéndose removido previamente la corteza superior salina. Usando esta técnica, funcionaba una cadena casi continua de chacras en el flanco oeste de la pampa. En los alrededores de Pintados, donde se habían construido pozos profundos extrayendo agua de buena calidad y amplio fluir, se cultivaba en trincheras profundas, usando la tierra a un nivel muy cerca de la capa freática natural, - una aplicación moderna de la antigua técnica usada en tiempos Incásicos y Pre-Incásicos. Hasta la vid se cultivaba con este sistema. Existen pocos documentos sobre este interesante experimento, pero las conversaciones sostenidas con los participantes sugieren que lo más importante es mantener la evaporación del agua en la superficie del suelo en su punto mínimo, disminuyendo en esta forma la concentración de sales dañinas en la superficie. Por consiguiente era necesario que la tierra tuviera una profundidad suficiente sobre la capa freática natural que impidiera el movimiento capilar del agua hacia o cerca de la superficie del suelo; aún más, la textura del suelo tenía que ser suficientemente liviana de modo que el agua de riego agregada bajara rápidamente hasta la capa freática. Si el agua de riego era temporalmente retenida por las capas del suelo con un bajo índice de permeabilidad, existía el peligro de que parte de esta agua volviera a la superficie por evaporación, dejando una concentración dañina de sal en la superficie. Una lección posterior fué que mientras más pobre es la calidad del agua de riego, más necesaria

es una tierra con textura suelta, de fácil drenaje. Este tipo de información es extremadamente pertinente para futuros experimentos agrícolas en la región.

REFERENCIAS

- (1) GARNER, H.P., 1959: "Stratigraphic-sedimentary significance of contemporary climate and relief in regions of the Andes mountains", Bull. Geol. Soc. Amer. 70 (pp. 1326-1368)
- (2) DRESCH, J., 1957: "Les types de relief morphoclimatiques et leurs limites dans les Andes centrales" Bull. Ass. franc. 263. (pp. 2-19)
- (3) DRESCH, J., 1958: "Problemes morphologiques des Andes centrales". Ann. Geog. 67 (pp. 130-151)
- (4) DARWIN, C., 1837: "Voyage of the Beagle", London.
- (5) RODRIGUEZ, A., 1961: "Informe sobre la calidad de las aguas del Río Lluta, afluentes, y Río Caquena". Informe mi-meografiada preparado para la Junta de Adelanto de Arica.
- (6) POURTAUBORDE, J., 1961: "Programa de desarrollo del riego a la zona de Arica", Informe de FAO para la Junta de Adelanto de Arica.
- (7) FREZIER, Amadeo Francisco, 1716: "Relación del viaje por el Mar del Sur a las costas de Chile, Perú y Brasil en 1713, y 1714".
- (8) SERVICIO NACIONAL DE ESTADISTICA, 1955: "Censo Nacional Agrícola Ganadero", Santiago, Chile.
- (9) KELLER, C., 1946: "El Departamento de Arica", Empresa Editorial "Zig-Zag", Santiago, Chile.
- (10) URZUA, L. 1947: "Arica, parte nueva", Empresa Andres Bello, Santiago, Chile.
- (11) ALPAT'EV, A., & MALIUGIN, P., 1945: "Experimental irrigation of desert sands with saline groundwater" (Russian)., Dekl. Akad. S-Kh. Kauk, Nos. 3-4 (p. 36-40)

- (12) GARCIA ARMENO, L. DE & ROSSI, R., 1954: "Irrigating and reclaiming desert land in Perú" J. Soil Wat. Conserv., Balt., 9. (pp. 266-267: 270-274)

- (13) TAYLOR, G.C., 1957: "Informe Geológico de George C. Taylor Jr., U.S. Geological Survey". Informe mimeografiado para la Sección de Regadío de la Corporación de Fomento de la Producción.

- (14) BRUGGEN, J., 1936: "El agua subterránea en la Pampa del Tamarugal, y morfología general de Tarapacá". Imprenta Universitaria (pp. 59), Santiago, Chile.

tred./sm
CSW/sm-cl
23.10.61

Soils and the Agricultural Problems of Tarapacá Province

C. Wright, Assessor in soils, FAO
J. Astudillo, DECAT, Ministry of Agriculture
E. Melendes, DECAT, Ministry of Agriculture

During May and June a semi-detailed soil map of the Lower Azapa Valley was completed and a general soil reconnaissance was made of the whole of the Department of Arica (some 16,500,000 has.). Subsequently soil studies were extended to specific localities as far south as the limit of the Province of Tarapacá. A total area of about 18,000,000 has. was examined, and some 180 soil samples collected for analysis. During the course of this field work, attention was paid to several specific problems of land use and agricultural development at the request of the Ministry of Agriculture, the Department of Irrigation, CORFO, the Junta de Adelanto de Arica, and other groups, including some private farmers.

Specific land development problems studied included:-

- The distribution of the soils in the Azapa valley and their suitability for irrigation with additional water brought to the valley by the Lauca River Deviation Project.
- The problem of falling agricultural production on some soils of the Lluta valley in relation to acidity and possible toxic factors in the river water.
- The problem of declining agricultural production and dwindling farm population on the alluvial flats and terraced hillsides in the pre-cordillera Valleys.
- The problem of determining an agricultural development programme for the soils and Aymará farmers of the altiplano.
- The possibility of further reclamation of desert soils on the arid pampas, along the lines of the experimental work seen at "La Concordia" and the established farms of Pica.

The agricultural problems of Tarapacá province centre around the availability of water: considerations of availability, quantity, and especially, quality of water naturally take precedence over soil properties in determining whether or not areas are suited for agricultural development. A thorough knowledge of the hydrology of the landscape is of more actual value than knowledge of the soil pattern, but is much more difficult to obtain.

Neither the rainfall nor the snowfall over the high mountains and altiplano of the Andes, in this part of South America, is adequate to charge the landscape with water sufficient to ensure that rivers may flow right to the Pacific coast. This is an essential factor in the environment of Northern Chile. Nor is there anything to suggest that the situation might have been different in past ages. Of course, as far back as Pliocene times, when Lake Titicaca (now 3,804 m. above sealevel) was an arm of the sea (1), the climate of the emerged parts of the Andean chain would almost certainly have been more humid; but there is abundant evidence that, throughout the Pleistocene and subsequent periods, the climate has been consistently dry (2). Certainly, the western desert area, extending over 100 km. from the coast to the foot of the Andes, at 2,750 m, has never been anything but a barren desert: the soils show practically no development and are little different from the salt-impregnated sands and gravels left behind at the retreat of the sea in Quaternary times. There is some historical evidence suggesting that the total volume of water in the landscape has a slightly but steadily decreased during the past five or six centuries, but at no time has the total volume of water moving towards the sea been great enough to excavate the deep valleys that dissect the landscape between the cordillera and the sea. Since most of these valleys have never experienced flowing rivers, they must represent submarine canyons formed in the original offshore sediments before these latter were uplifted above the sea.

From the Pliocene era onwards the total extent of uplift has been truly formidable. At no great distance to the north, in Peru, there are remnants of Pliocene beaches with a fossil fauna comparable to that of the present day shores, which are now at an altitude of 3,500 m. above sealevel. From time to time the process of uplift was halted and even reversed, allowing the sea to flow again into the bottom of the uplifted canyons. It was during one of the last of these subsiding movements that the sea deposited the coarse gravel and shingle that today forms much of the level floor of the lowland valleys near Arica. At their highest elevation these loose, or weakly salt-cemented, materials are over 1,000 m. above the present sealevel, yet they are to a large extent preserved intact because the rivers draining from the cordillera have never carried a sufficient volume of water

to excavate them completely. The rivers of the region have been able to do little more than cut terraces and erode part of the ancient floor in that part of the valley nearest to the Andean foothills; further down the valley, the river disappears below the ancient valley fill, and only at times of high flood (in February or March, when rains are falling on the altiplano) some of the rivers continue their erosive course and reach the sea. In the Province of Tarapacá, there are only two rivers that regularly discharge into the sea: the Camarones and the Lluta. The Lluta River has by far the largest catchment (3,310,625 has) and flows steadily into the sea, at all times of the year. It is indeed ironical that this river, the best in the North of Chile in respect of volume and regularity of flow, has water of a quality that is barely acceptable for irrigation purposes. This brings us squarely to a confrontation of the much-debated problem of the falling agricultural production on some of the Lluta Valley soils, and what might be done to rehabilitate agriculture in this valley.

The Lluta Valley Problem

The problem may be stated simply thus; during the past 20 years production from many soils in the Lower Lluta valley has sharply declined and local farmers are convinced that the cause is undue acidity of the water produced as the result of the operations of a sulphur refining plant at the headwaters of the river.

Such evidence as has been collected from time to time is not wholly in accord with this simple explanation, and indeed some farmers counter-claim that the waters are no worse now than before the sulphur refining plant changed its methods of extraction. Irrigable land being such an extremely valuable commodity in the arid region adjacent to Arica city, clearly a thorough investigation is warranted. A partial investigation has been in progress for some years and has included a soil survey, and regular sampling and analysis of water from the main Lluta River and its several affluents.

The Lluta River water is remarkably acid, as such, is somewhat of a scientific curiosity because, at certain seasons, it is acid throughout the entire length of about 150 Km. despite the fact that it flows in a landscape where all the soils are either alkaline or near-neutral. The main river receives at least five major affluents, all of which range from alkaline to very strongly alkaline. It is also fed by innumerable spring waters, and those that have been examined also prove to be alkaline.

This extraordinary persistence of acidity, despite repeated titration with the alkaline waters of successive affluents can only mean that there must be a very potent source of acidity at the headwaters..

The headwaters of the Lluta are at the foot of Tacora mountain, a volcano rising from the altiplano to just short of 6,000 m. Two small streams, the Tacora and Azufre, unite to form the Azufre river. The Azufre river has a pH which ranges between 1.6 and 2.3, at different seasons of the year. The origin of this extreme acidity appears to be mainly in the hot-springs emerging along the foot of Mt. Tacora, plus some small contribution from the sulphur-refining plant located on the headwaters of the river. It is quite certain that this installation is not the sole source of acidity, although it may be the source of some other potentially harmful factors (e.g. sescuioides and related substances). The soils along the bank of the Azufre river have a pH of 7.8, and the natural vegetation appears to be in no way discommended by brief inundations of acid floodwater.

At the point where the acid Azufre river receives its first major alkaline affluent, the Colpitas River, the mixing of the two waters is clearly marked by a line of white precipitation. Above the confluence the Azufre river has a pH of between 2.8 to 3.0 (seasonal variation); after accepting the Colpitas with a pH of 7.5 to 7.8, the pH of the main river rises only to pH 3.1/ 3.2. This point of confluence may be accepted as the start of the main Lluta river. (A smaller affluent, sometimes also referred to as the Lluta stream, enters the Azufre above the Colpitas. This is only a small stream that drains the swamps around Villa Industrial and has a pH of 7.7. On mixing with the water of the Azufre river exerts a negligible influence on the pH of the latter).

Below the junction of the Colpitas and Azufre the Lluta river flows in a deep gorge cut in rhyolitic lava, and receives only small streams and some springs until its junction with the rivers draining the agricultural valleys of Putre and Socoroma. Much of the water from these latter valleys has previously been used for irrigation of the terrace gardens ("andenes") of pre-cordillera settlements, and has a pH of between 7.8 and 7.2. The main Lluta river however, remains strongly acid. (pH 3-9).

The Lluta river is still strongly acid at the point where it emerges from the gorge and enters the alluvial land of the Lower Lluta Valley. At the first of the main farming regions, Molinos, it has a pH of between 3.5 and 4.2. A little lower down the valley, it passed through a section with numerous springs. These springs flow all the year and have a pH of around 6.0 they have little influence on the main river which fluctuates seasonally between 4.2 and 4.7, at this point. For much of the year, the main river remains strongly acid right to its point of entry into the Pacific, although during the height of the dry season of the altiplano, when the flow in the river is minimal, the pH over the last few kilometers may rise to, and even exceed the neutral point. This change may well be connected with the presence of alkaline bog soils in the lower sector of the Lower Valley, and the fact that most of the

water has been employed for irrigation further up the valley. The influence of the bog soils would be to cause reduction of sulphates to sulphur.

So much for the evidence of persistent acidity in the Lluta system. Next we need to study what happens when irrigation water derived from the river is passed through the agricultural soils. Here the evidence is weak because this aspect has been insufficiently investigated up to the present time. This much appears certain: the acid waters of the Lluta system used to irrigate deep, free-draining loamy sands, loams and sandy loams of the central section of the Lower Valley do not have a marked affect on either the soils nor the crops. The soils have a natural pH of greater than 7.0; the acid water passes quickly through the soil, lowering the pH briefly to about 5.9, but within a day or so the pH recovers its original level. It is claimed that prolonged irrigation has been known to damage germinating alfalfa seedlings, but on these favourable soils, this appears to be the sum total of the damage reported when irrigation is carried out using Lluta water. However in the case of very coarse gravelly and sandy soils, and with slow-draining soils containing an admixture of clay, the story is rather different. In these soils, the total effect of irrigation, over some ten or more years, has been to lower the natural pH of the soil from about 7.7 to between 5.1 and 5.5; in a few cases, mainly soils with clay near the surface, the pH had fallen as low as 4.8. Thus the balance of evidence, as far it goes, seems to show that the acid irrigation water does little harm in soils containing a high reserve of finely-divided mineral particles (there may even be some stimulation of crops by the weathering of these fine particles, and most of the clay produced is leached out of the free-draining soil). But in coarse soils and clay soils, which do not offer the same facilities of weathering to offset the acidity of the water considerable damage is developing. Further investigations, with a lysimeter studies, would be well worthwhile.

In view of the general alkalinity of the soils of the region, it is difficult to conceive that acidity alone is the only factor operating to cause the death of crops on certain of the soils. Analyses of the Lluta river water (5) shows that many other undesirable features are present. In the sector where the water is used for irrigation, these undesirable features includes high content of dissolved salts; very high levels of the cation boron; and high levels of the anion chloride (Cl⁻).

Large amounts of boron seasonally occur in the Azufre, and in the Colpitas water (52 ppm. and 34 pp. respectively, in December 1960); the proportion falls with increasing distance from the headwaters, until near the mouth of the river, when it again rises sharply (to 42 ppm. in December 1960). Chloride content of Lluta water lies between 10 and 20 me./ litre (depending on season) in the agricultural zone of the Lower valley. Either of these factors, quite apart from acidity, could be

responsible for damage to crops. The only way to isolate the factor, or association of factors, affecting agriculture, would be to conduct a series of pot trials and field plot trials with selected crops, in the actual valley. This would be a relatively small undertaking, and not expensive. There is further the possibility of some toxic factor entering the soil with the fine clay sediment in the river water. This yellowish clay has its main zone of deposition in the part of the lower valley where crop damage is worst. This could also be investigated in pot trials. Thermal waters often contain small amounts of arsenic, and this also need to be checked.

Thus it can be realized that there are still several unknown factors in the general problem. One obvious solution would appear to be to divert the Azufre river of the altiplano into some unused desert valley: an expensive but entirely feasible solution, - if it was certain that by so doing the damaging element in the water would be removed. On the data at present available, one cannot be sure even of this. By entirely removing the Azufre water from the Lluta system, we are left with a reduced volume of strongly alkaline water, still excessively rich in boron, chlorides, and dissolved salts in general. Would this be any better than the present Lluta water for the agricultural development in the valley? Pot trials could help to elucidate this point.

Meanwhile, many farmers of the Lower Valley are clamouring for help, and if possible for some interim solution while the essential investigations are being brought to a proper conclusion. The best interim solution offering is probably that advanced by Fourtauborde (6), after consultations with the Junta de Adelanto de Arica and the management of the Sulphur plant. This envisages a partial deviation of the Azufre river by means of a canal conducting the whole of the river water westwards across the pampa Titiri, but allowing the acid waters to leak into the alkaline soils of the pampa and subsequently percolate slowly down towards the gorge of the Lluta river. In this way a considerable amount of the acidity in the water might be neutralized. If the program of experiments carried out in the lower valley eventually show that complete diversion of the Azufre river is essential, the canal can then be sealed and lengthened in the direction of Puquios and the headwaters of the desert Quebrada de Gallinazos. The completed deviation canal would have to be at least 65 km. in length, and would require a considerable amount of blasting.

Total deviation of the Azufre waters seems an unnecessarily drastic solution. Moreover it is possibly one which throws aside one potentially important asset. As mentioned earlier, the presence of acid water in an arid and alkaline landscape is a very real rarity. It is something that should be turned to good advantage if possible and not deliberately wasted. No one has yet performed the simple experiment of titrating the Azufre river water against the Colpitas or Putre waters, to see what salts are precipitated and what proportions of each are needed to secure water of a favourable pH for farming. It is quite possible that the

most effective and most economic solution to the problem will require only two small dams to impound the Azufre and Colpitas rivers, with facilities for mixing known quantities from each system to secure a regular flow of water with a pH suitable for irrigation lower down the Lluta valley. This blending station could possibly be constructed on a large enough scale to permit a small hydro-electric plant in the gorge of the Lluta river, already blended water being piped to the site of the hydro-electric plant. This solution should be given very serious consideration before commencing an even more expensive canal to secure total deviation of the Azufre river into the Gallinazos desert. It would be a criminal thing to deliberately throw away water in a region so arid, unless no other feasible solution is available.

There is one further aspect of the Lluta valley problem that must be mentioned at this stage; one that is often discussed in connection with the Azufre deviation project. This refers to a project pioneered by the Department of Irrigation, in which the Cauquena river, which at present flows into Bolivia, is to be beheaded and conducted by a long canal (and possibly a tunnel) and jointed to the Colpitas river; and hence into the Lluta system to replace the water lost by the deviation of the Azufre. This projects like the Lauca Deviation Project discussed more fully below, is a noble concept, but it by no means in the best interests of the Aymará population of the altiplano. It is far too easily forgotten, by people who live mainly below the 'puna' limit in Chile, that the altiplano is occupied by vigorous and industrious Chilean farmers who are almost the sole producers of alpaca and llama wool in the Republic. Over 60% of the domestic llama and alpaca herds in Chile graze on the natural pasture of the 'bofedales' of the altiplano in the Department of Arica. It is not generally known that the 'bofedales' are totally dependent on spring and stream waters, and the altiplano has nearly as dry a climate as the rest of Northern Chile. Already the Lauca deviation works will within a few years, seriously deplete the grazing potential of the largest of the bofedales on the altiplano (that near Parinacota) and the Cauquena deviation project will almost certainly have the same effect on the only other large area of 'bofedales' left on the Chilean altiplano. This verges upon the wilful destruction of a valuable natural resource one of proven merit to the economy of the Republic, in order to satisfy a much smaller group of agriculturalists whose products may quite possibly be mainly subsistence foods for the population of Arica city.

The second of the large lowland valleys within easy reach of Arica city presents a very different set of problems in respect of agricultural development. The natural watershed of this valley amounts to some 2,000,000 has. and few of the streams feeding the Azapa system actually penetrate the altiplano. The Lauca Deviation Project, which was first proposed nearly 100

years ago, increases the catchment area by about 500,000 has., and further proposals to tunnel and tap the water of Lake Changara, will give a total watershed area of about 2,647,500 has. In passing from the altiplano to the head of the Azapa system, the additional water will operate a hydro-electric plant which will be of great value in the Department of Arica. The problem of the Azapa valley is thus, not one of obtaining adequate supplies of water of good quality, but of how best to make use of the extra water when it reaches the Lower Azapa valley

The Azapa Valley Problem

This has already been stated simply in the introductory paragraph above. Until recently the precise shape of the soil pattern in the Lower Azapa Valley was unknown; and it was to discover this essential information that a semi-detailed soil survey was hastily carried out. The Lauca Deviation Project has been an expensive one, and it is most necessary that the Water derived from this project be put to its maximum effective use; preferably used for the growing of crops which will be of benefit to the economy of the whole country. This means that we have to think in terms of crops that will do more than merely supply the domestic needs of Arica city. At present the only exportable produce grown in the valley are the olives, many of which come from very old trees planted in Spanish Colonial times. It is important to emphasise this, to guard against any tendency for the development of a narrow parrochial viewpoint in planning the use of newly irrigated land in the Azapa valley. The influence of Arica citizens will undoubtedly be strong, - and they are inclined to view themselves as inhabiting an oasis, set a little apart from the rest of Chile: it will not be sufficient only to grow market garden crops on the new lands available for farming, but some attempt must be made to grow fruit, fibre, juice or spice crops that at present have to be imported into Chile from abroad. This idea may not sit easily amongst the people of the city, who, if anything, have themselves become specialists in the art of importation.

The soil survey discloses that there are some 5,000 hectares of flat land in the Lower Azapa valley which can readily be irrigated. Unfortunately, some two-fifths of this represents extremely shallow and stony soils of negligible agricultural value at present. There is a simple technique whereby some of these soils may be deepened and made suitable for farming; this is mentioned more fully in a later paragraph. None of the valley soils can be ranked as first-class for irrigation, by overseas standards, but a fair proportion are second and third-class soils. All the soils are alkaline; some very alkaline and somewhat salty, and many are calcareous in the subsurface layers. In the upper section of the Lower Azapa Valley, there are mainly sands and loamy sands, with a gradual change to a predominance of loams, sandy clay loams and even some

clays in the lower reaches of the valley. Fine sand and silt are perhaps the dominant particle sized common to most valley soils. With this set of soil properties, the nature of the irrigation water becomes highly significant, for unduly alkaline water will further increase the level of alkaline salts in the soils, and unduly silty waters will tend to block existing fine pore spaces. Unfortunately, no recent analyses of the Azapa valley waters are available, and, apart from one isolated sample of water from the Upper Lauca river collected on the altiplano, little factual data is available for the waters of the Azapa system. This is unfortunate because field evidence suggests that the soils have been changing under irrigation, - and the change is not always in a favourable direction for sustained agricultural production.

The oldest of the irrigated soils are those of the lower part of the valley, and water for irrigation is drawn by pumping from wells tapping subterranean in water in the gravel of the valley floor. This water appears to be fairly free from silt and clay, but, as it passes from one property to another down the valley, it acquires a considerable quantity of fine solid material. This water is alkaline, and evaporates leaving a white, crystalline powder. The river water, which is used when the river is in flood, is highly charged with sand and fine sand when strongly in spate, and with fine sand and silt when flowing more gently. At some times of the year, a thin clay scum is left by the passage of the river water through the soil. Fairly widespread deterioration of topsoil structure and marked surface "caking" was noted in many of the irrigated soils. Subsoil changes were also noticed in some places; and, in one case, it is suspected that dying-out of an orange orchard was connected with deterioration in subsoil aeration. These are small indications of progressive soil changes that may, in time, have an important bearing on agricultural development in the Azapa valley. The analysis of the sole sample of the water from the Lauca River, collected above the deviation channel, showed very alkaline conditions (pH 8.5), with abnormally high magnesium and carbonates.

We are thus lacking chemical data for both soils and water in the Azapa valley. Soil samples have now been collected, but as yet no programme of water sampling is envisaged. In the absence of such data, a somewhat heavier load will have to be borne by the programme of actual field experiments. A site for the valley experimental station has been recently selected, and experimental programmes have been drawn up for this station and for extension work generally throughout the valley. Very little appears to be on record about the growing of crops other than maize, beans and certain other vegetables; amongst tree crops, only the olive appears to be well understood. In former centuries, the Azapa valley was famous for the large acreage of chili peppers (7) and cotton grown. Alfalfa has been grown from pre-Colonial times as fodder for transport animals. The present acreage of alfalfa grown is not large, but the importance of this crop as a soil improver, as a builder of soil structure, as an incorporator of organic matter, and as a maintainer of cool conditions at the soil surface, cannot be overemphasized. To date, almost no trials

have been made with new strains and varieties of alfalfa; nor with any of the other legumes and grasses that might grow well in the area under irrigation. Parts of the Azapa valley (as also with parts of the Lluta valley) could well be converted to dairy production if the right pasture mixtures can be evolved. This is one future aspect of agriculture in the valley that may need careful nursing because it will be introducing an agricultural product that will be in direct competition with imported products: for many more years there are likely to be more individuals engaged in importing milk products than in raising them locally, and the local pressure may well be against the local dairy farmer. In many of the older olive orchards, the ground between the trees could be maintained under a more or less permanent cover of alfalfa, and cattle or pigs pastured on the area. In many olive orchards there is a large amount of very good soil which could thus be used more intensively without harming olive production.

The new soil map shows clearly that the pattern of development of the newly available irrigable land must follow along certain lines. It shows where the best soils occur and thus suggests how the canal reticulation and access roads should be developed. Further soil surveys and soil conservation measures will be needed on individual farms, and steps are being taken to ensure that this technical aid will be available when development reaches this stage. There appears to be some doubt as to which soils should have priority of development. On this point there can be no question that the better textured soils of the centre of the valley should be brought into production before attempts are made to bring in the more difficult and more water-demanding sandy soils of the upper valley; although these latter may be the nearer to the actual delivery of water through completed canals. Many of the sandy soils of the upper section of the valley should spend most of their agricultural life under successive covers of alfalfa. On some of these sandy soils, the use of sprinkler irrigation may well be rewarding.

A full account of the soils and their agricultural properties (as far as can be estimated from existing information and past records) has been prepared in collaboration with Srs. Melendez and Astudillo, and there is little point in repeating the information in this article. It is hoped that the soil bulletin (with soil maps and other maps derived from the soil maps) will be published by the Junta de Adelanto de Arica, who originally asked for the study.

An important contribution to agricultural development in the Azapa valley would be the recovery of part of the shallow stony soil of the central and upper sections. It is very likely that this can be done comparatively easily by employing a heavy bulldozer to prepare the stony land in compartments aligned on either flank of the existing river bed. During flood time, when the river water is heavily charged with sand and silt eroded from the slopes of the cordillera, the water can be deflected by temporary embankments and turned into these compartments in succession.

The process can be continued every season until a sufficient depth of soil has been trapped over the whole area. Observations made during the recent seasonal floods (February, 1961) showed that in its present condition, the river would be capable of filling the compartments in a very few years. Whether the barrier at the upper end of the valley constructed by the Department of Tiego to deflect water into their canal, will change the situation remains to be seen. Observations on new silting conditions produced by this barrier should be carried out during the next flood water period; and these will determine the possibility of land reclamation by sediment traps.

A land reclamation project of this type implies that there is going to be some measure of firm control over the movement of all water in the Lower Azapa valley. This will ultimately mean the creation of an Azapa Valley Water Authority, created with power to align and deepen a chosen river channel (virtually canalization of the river); power to approve plans for, and oversee the function of, lateral irrigation canals; power to develop adequate drainage ditches to remove surplus water, and all the other subsidiary works essential for the efficient use of irrigation water. This Authority should have a certain degree of independence and local status. It should be mainly composed of elected members, and paid for by a property rating decided upon after the actual and potential productivity of the irrigated soils has been assessed. (A similar Land and Water Use Authority should be set up for the Lluta valley.)

With so much local interest in the development of the soils of the Lluta and Azapa valleys, it is not so suprising that the rest of the farmers in the region are to some degree neglected. What is suprising, is that this neglect is not just a recent development but appears to be a long-standing one. In the course of the examination of the soils of the pre-cordillera and altiplano region, two things were very evident: the presence of a rapidly growing city on the coast was attracting farmers, especially the younger generation, into secondary and tertiary occupations, resulting in a decline of primary production in the more remote districts; and, secondly, many farmers appeared to be unaware that there existed a Government service whose purpose was to assist them with their problems. It is true that many of the pre-cordillera settlements are not easy to visit, but that is not the fault of the farmers, who have been producing crops for many centuries, utilising almost every drop of available water wherever it may occur. It is really very impressive that, wherever there is a little water available, the ancient farmers of the region have created good agricultural soil out of raw soil material that is far

from ideal. For the most part, the method of farming is a kind of "terrace-gardening": the total area in production is not large but the production per hectare is phenomenally high. Thus, in the pre-cordillera, we meet a new kind of problem involving declining production associated with a dwindling farm population.

The problem of maintaining agricultural production in the pre-cordillera

As stated above, the problem would appear to be mainly sociological: the gradual abandonment of ancestral lands and a hard but secure way of life for the bright city lights with an easy but insecure way of life. There is, of course, far more than this involved in the problem.

For many centuries the people of the pre-cordillera valleys held a key position between the people of the altiplano on the one hand, and the people of the lowland valleys and the coastal settlements, on the other hand. All the principal trails converged on, and diverged from, these high valley settlements, and thus there was always a ready mean of disposing of all the varied agricultural produce from their gardens. They were, in fact the ancient market centres. They retained their importance even after the Spanish Conquest for they lay on the routes between the rich mines of the interior and the shipping points on the coast; but as this traffic declined, so did their prosperity. They have remained as dying settlements, irrevocably tied to their water rights and their thousands of hectares of terraced hillside soils. They have scaled down their agricultural endeavour until it is now little more than subsistence farming.

The terraces employed in agricultural production are mostly of ancient origin and they were constructed at a time when spring waters were in somewhat more abundant supply. Little by little the upper tiers of terraces had to be abandoned for lack of water. Yet, in many settlements, at the present time, there is more water available than there is terraced land in use: shrinking water supplies cannot be wholly blamed for the decline in precordillera agricultural production.

The soils have been cultivated with great care over the centuries. After each crop heavy dressings of sheep manure are applied to the whole terrace, and individual plants are supplied with phosphate in the form of guano during the growth of the crop. In this way the soils are enabled to bear heavy crops of very even size and condition. Thus the soils cannot be blamed for declining production.

From time to time an effort has been made to grow crops which can be 'exported' outside the precordillera zone. Maize, potatoes and alfalfa are still the basic crops grown, but these are largely now for home consumption. In this virtually roadless region, it is exceedingly difficult to find any

crop that can survive the long journey by mule, pay the expenses of the whole trip to the market, and still leave a reasonable cash profit. At the present time, some settlements can make the growing of orégano a profitable business, but it is only profitable when the price offered for this commodity is relatively high. Orégano is an aromatic herb used in the bulk manufacture of dried soup, and naturally the market price fluctuates widely: often a good crop is grown but then has to be abandoned because the market is oversupplied and the price offering too low. Alfalfa is likewise 'exported' from the precordillera when there is a feed shortage in the lowland valleys; but this likewise is a very uncertain market and will decrease as the lowland valleys adopt efficient mechanical production methods. Thus, the problem of these precordillera settlements is partly a search for suitable cash crops. If the region is to remain without access roads, the range of potential cash crops is very restricted; if roads are contemplated, the situation will become much easier.

Under existing transport conditions, the type of crops that might be profitably grown are restricted to those of low bulk, high density, and high market value; and, at the same time, they must be suited to the peculiar climatic conditions of the region. One immediately thinks of a hard-shelled fruit crop, such as nuts, but there are probably many other crops that might be tried experimentally in the area. This experimentation and the introduction of new strains of alfalfa, are the proper field of the Ministry of Agriculture, but alas few of the precordillera settlements have been visited recently by agronomos of this organisation. It is hoped that the Extension Service of the Ministry will take renewed interest in this very able and hardworking group of Chilean farmers.

Still more remote from Arica city, in distance, time, and technical assistance, is the altiplano: the home of Aymará pastoral farmers, and the only large centre of wool production in Chile, outside of Magallanes Province. According to the Censo Nacional Agrícola Ganadero of 1955 (8), almost 60% of all the 'auchenidos' (llamas and alpacas) of Chile, were located in Tarapacá Province; and of these, 95% were pastured on the altiplano in the Department of Arica. In the region of Gral. Lagos alone, there were over 22,000 head, yielding an average of 2 quintals of wool per animal sheared. There are also considerable number of sheep on the altiplano. These animals are mostly the property of Aymará family groups who share the labour of keeping the animals on the move from one grazing ground to the next. The main pastoral areas are the 'bofedales', and a loose system of rotational grazing is practised to allow the natural forage plants time to recover between spells of grazing. The climate is semi-arid. Plant growth is restricted by the actual deficit of soil moisture which exists during most of the year; and by very low night

temperatures which occur almost throughout the year. The only areas in the landscape with an adequate fodder production to nourish livestock in large numbers are the 'bofedales'. These are a type of 'cushion bog' plant association, almost wholly dependent upon spring water for their growth. Probably 80% of the grazing of the altiplano is supplied by the vegetation of the 'bofedales'. Only during the months of February, March and part of April, following the arrival of the "Bolivian winter rains" (9) does the rest of the altiplano landscape carry alternative grazing in the form of short-lived, annual herbs and grasses. Perennial grasses species of *Stipa* having a low tussock format, are also grazed during this period; but for much of the rest of the year the tussocks are dry and probably not very palatable. Wool is the main agricultural product of the area and the inhabitants have for many years sold wool to regular buyers from Arica. Formerly there was a steady trade in wool, woven fabrics, and dried meat, exchanged for maize, trigonote, and dried fruit produced by the people of the precordillera valleys and lowlands (10). The problem of the altiplano is to find a way to encourage these Aymará pastoral farmers into more active participation in the Chilean economy. This problem will become particularly urgent if any more of the water resources of the altiplano are diverted to help the farmers of the lowland valleys.

The problem of utilising the soil resources of the altiplano

The soils of the altiplano are largely derived from volcanic ash and, under the prevailing climate, they have been but little weathered or leached, so that they still contain a high reserve of plant nutrients. It is the climate, - particularly the dryness of the climate, which chiefly restricts their use. Railway personnel stationed on the altiplano along the line between Arica and La Paz, know that, with protection from wind, and an occasional watering, vegetables such as radishes, lettuces and cebadas can be grown during most of the year. Very severe night frosts (with temperatures as low as -20°C) may occur at any time of the year, and these are an ever present hazard for the gardener. On the slight evidence available, it would seem safe to judge the altiplano as being probably unsuited for any form of arable farming, even if shelter and irrigation could be contrived.

More hope lies in the field of improving pastoral farming raising the carrying capacity by the introduction of new grasses in the hope that they will adapt themselves to the severe climatic conditions. Trials should

be made particularly with annual grasses that will germinate and grow very rapidly during the brief rainy season. There are also some legumes that might worth trial. Amongst perennial grasses, trials should be made with new introductions (from Russia, New Zealand and Northern Canada) of more nutritious tussock species, whose deep root systems allow better use of soil water, and whose massive tufts allow protection from frost for new leaf blades. Trials should be made with very hardy trees to see if any of them might be used for shelter strips. The problem of improving agriculture on the altiplano is essentially one of farming a "steppe" landscape; and in this field the Russians have the more advanced technology. An experimental station is the first requirement on the altiplano: a provisional site at MICITUNI, on the Lauca River, has been selected.

At the same time a great deal might be done with existing natural resources in the region. The altiplano farmers have evolved a technique for maintaining the grazing on the 'bofedales' by constructing canals to carry water away from the actual site of the springs, thereby irrigating the periphery of the bog (the first part to dry out) and simultaneously draining the part around the spring to prevent undue icing of the 'bofedales' and free movement of water until late in the day. In many bogs, an extension of this principle (even perhaps terrace construction) might greatly increase the area of 'bofedales' grazing. A survey might be made of the grazing habits of the animals to find out which are the more palatable and nutritious plants, and attempts might be made to increase the proportion of those in the natural sward.

The standard of 'range management' appears to be quite high, but much might be done to improve the production of wool through selection of high-producing animal strains and the general application of standard genetic principles in building up better herds. Some of the younger farmers might be trained along these lines. The Government of Chile has spent a considerable amount of money in constructing very good school buildings at several centres on the altiplano, and the standard of intelligence of the scholars is high. Are these children to grow up merely to be literate pastoral farmers, with an inevitable tendency to drift to the cities, or can some of them be trained further along sound agricultural lines, so that they can pioneer new farming techniques on the altiplano?

Thus the problem of the altiplano is far from being solved: there are too many unknown factors at present and the next decade must be devoted to an increasing amount of agricultural experimental work in the region; with the object of achieving a much higher standard of pastoral production, - such as in appearing in the Magallanes Province at the present time.

The fifth and last of the major agricultural problems existing in the Province of Tarapacá, concerns the agricultural potential of the desert soils. These soils occupy more than three-quarters of the whole area of the province,

and thus it is very important to know more of their possibilities and their limitations. The desert soils fall into two major groups: those derived directly from ancient marine sediments, and those formed from materials of more recent origin. The former are usually the more coarsely textured and are usually heavily impregnated with their original salt; the latter range in texture from very fine silty clay to gravel and if they are impregnated with salt, it is of comparatively recent origin. The development of either type of desert soil is of course wholly dependent upon supplies of adequate and suitable water, but the economic problems to be overcome are not identical in each case.

The problem of reclaiming desert soils

Materials such as these occur mainly along the northern seaboard of Tarapacá Province, where the desert forms broad, high, gently undulating plains deeply dissected by steep-sided valleys. There is no higher land in the immediate vicinity from which younger materials might be eroded, and, apart from a little blown sand forming patches of dunes, the landscape is approximately as it was left after the retreat of the sea. Similar materials also occur along the coastal lowland north of Arica and extend across the Peruvian frontier, but in this lower position, the marine beds are to some extent overlaid by sandy and silty materials from existing or ancient river systems.

In the strict sense of the term, there is hardly any soil: only the upper few centimetres show operation of soil forming processes, and the development of an agricultural soil from such material depends on techniques which will rapidly extend the thin layer of soil down into the parent sediments. The chief barrier to this objective is the heavy salt impregnation in the sediments. Experiments at "La Concordia" initiated by CORFO (and previous CORFO experiments at "La Chimba" in Antofagasta Province) show that the salt can be relatively easily removed by leaching. This however, requires abundant water of a reasonably high degree of purity. The most efficient techniques for adding the water to the soil was proved to be by sprinkler irrigation. Where the sediments are conspicuously laminated, with coarse and fine materials alternating, the leaching action of the added water is liable to be irregular; the water passing by means of fissures from one layer to the next, without thoroughly washing the salt from the uppermost layers.

The leached materials are then ready to start being formed into soil. As they stand after leaching, they are quite unsuitable for the commencement of farming: they are practically devoid of soil life; they usually totally lack organic matter, the source of energy for most soil life; and

they are often deficient in readily available plant foods. Experiments at "La Chimba" are showing that the most effective way of building up these materials into soil, is by growing repeated crops of alfalfa. When the material has incorporated enough organic matter and the natural supplies of plant foods become more abundant (they are produced by the action of natural organic acids on the high mineral reserve in the material) an occasional arable crop can be grown. The essential step of the process is the long period under a good soil-building plant: alfalfa appears to be well suited for this purpose under the conditions of Northern Chile.

The importance of building up the soil organic matter is in part connected with raising the colloidal content of the soil. Soil colloids provide important reactive surfaces for chemical exchanges, and also serve to buffer the soil against too rapid internal changes. The more organic colloids can be introduced into the soil, the better for plant growth. Any major source of compost, such as the produce from a municipal composting plant, should be utilised: seaweed, or locally composted swamp vegetation is likewise valuable. The chief difficulty with using organic residues as a source of soil colloid is that, under the high daytime temperatures prevailing in the Department of Arica, much of the organic matter is lost by oxidation. There is no way to prevent this, and little can be done to minimise it, except by keeping the soils as cool as possible. Maintaining a thick layer of stones on the soil surface helps to keep the soils cool, but is not practicable except with tree crops.

An alternative source of soil colloid for development of sandy desert soils is to bring in soil clay from other places. In many of the lowland valleys near Arica, there are small areas of soil which are relatively high in clay. Some of these soils are swampy, and when these swamps are drained, the excavated earth could be transported and mixed with the desert sands reclaimed by irrigation. It has been found (11) in Russia, that a layer of clay placed 30-40 cm. below the surface of the soil helped greatly in maintaining fertility and moisture capacity. Where there is a source of clay reasonably near to the development area, this technique should certainly be tried.

The above remarks apply equally to both the desert soils derived from ancient marine sediments and those from younger materials. The main difference lies in the economic field, for the former group of soils are much more difficult and more costly to leach, and the resulting product is usually very stony and gravelly, and very extravagant of water when under irrigation. Unless there is a great abundance of water available, or the actual area to be brought into production is very small (as for a garden, for instance), reclamation of this type of desert soil is likely to prove uneconomic at the present time. In this connection, reclamation of the desert soils near San Martin or Central, on the Arica-La Paz railway, is not considered feasible, - even if abundant sweet water can be supplied. Gardens perhaps might be developed, but not farms.

On the other hand, where there is a reasonable proportion of soils derived from younger sediments, or where all the soil falls into this category, there is some possibility of the economic rehabilitation of desert landscapes. The experiments of CORFO at "La Concordia" and "La Chimba" are seeking to establish just this very point. The soils under trial range from stony sands to sandy silts, many of them are quite strongly impregnated with salt produced as a result of local and not general geological processes, as was the case with the other group of desert soils. Similar experiments have been carried out in Perú, on the same general type of landscape, but with the important difference that the majority of the Peruvian soils have a higher content of silt and clay, and therefore are better provided with a natural mechanism for water retention. Further north in Perú, desert soils have been reclaimed by irrigating with water containing silt (12). All the evidence suggests that even a very small proportion of silt and clay mixed with the desert sands will be likely to have a high economic significance.

If this fact is as important as it at present appears, we should look to the desert landscapes to find if there are any areas of silty sands in situations where adequate supplies of groundwater are likely to occur. The main areas of silty sand in Tarapacá Province occur in the Pampa del Tamarugal; a flattish desert plain some 200 km. in length and 10 to 20 km. wide, formerly in part covered with open woodland consisting mainly of Tamarugo (*Prosopis strombulifera*) trees. On the Pampa del Tamarugal the soil pattern shows very regular gradation, with sands and gravelly sands occurring in a band close to the Andean foothills, and grading outward across the plain, through fine sand, silty sand, sandy silt, silty loam, silty clay loam, to silty clay. The latter has been deposited in "ponding areas" along the foot of the inner flanks of the coastal range. These "ponding areas" are also zones of heavy salt accumulation, and are known as "salares". The textural transect also coincides closely with a rising level in the underground watertable, and with a steady increase in soil salinity.

The part of this pampa of most interest for desert reclamation schemes is obviously the strip where the soils are reasonable (but not excessively) silty; where the watertable is not too far below the surface; and where neither the soil nor the underground water is excessively salty. A survey of groundwater conditions and a broad survey of the soil pattern along a strip approximately 5 km. wide and 100 km. long (almost along the centre of the Pampa del Tamarugal) should be undertaken to confirm these preliminary observations. The focal point for the commencement of this survey should be opposite the Quebrada de Tarapacá.

It is interesting to find that this strip of potentially valuable soil more or less coincides with the limits of the ancient tamaruga forest, and is also within the zone once used for agriculture by earlier Indian farmers. The latter employed a technique in which the soil was

excavated in squares ("Canchiones") to a depth of two or more metres. Crops were grown in their big pit, the bottom of which was close to the natural watertable. This specialized technique was also used widely at one time on the desert lowlands of Perú, (15) (16).

There are still a few ancient tamarugo trees in this desert and an abundance of seed lies on the surface of the soil below these trees, but no germinated seedlings were discovered. Soil excavations made below one of these trees showed that the original rooting zone of the tree was a metre or more below the existing soil surface, and that the tree had become buried deeper and deeper in sand and silt with the passage of the years. The natural watertable is now so far below the surface that no seed germinating on the soil surface would have an opportunity to get its roots down into moist sand before the upper part of the soil dried out. When examined, the sandy soils were beginning to become moist at about 180 cm. although the true watertable is probably another 2 m. further down. Water obtained from wells nearby is slightly saline, yet the moisture condensed in the sand of the subsoil below the tree appeared to be free of salt. If this is moisture raised by capillary action, one would expect it to be saline: possibly it represents moisture derived from rainfall still on its way down to join the true watertable, but otherwise it must be derived from condensation.

Although the Pampa del Tamarugal is a true desert, it is not without occasional precipitation. Often this takes the form of sudden, sharp thunderstorms; but in some years a more prolonged interval of rain is experienced. There are no rain gauges in the area but the evidence of the soils shows that there is repeated accumulation of alluvial silt and fine sand. The soil laminations show three types of accumulation: intervals of strong alluvial siltation when the particles are mainly silt, fine sand and a little clay deposited in layers up to 20 cm. in thickness; intervals of weak alluvial siltation when the particles are mainly fine sand and silt, deposited in very thin layers less than 1 cm. thick; and intervals when there is no siltation but some accumulation of medium and coarse sand, probably of aeolian origin, and often over 10 cm. in thickness. The order in which these layers occur varies from place to place, but in all the soil profiles there is abundant evidence of the periodic movement of water across the surface of the desert landscape.

It is considered that these soils of the Pampa del Tamarugal offer much the best chance of desert reclamation in all of the soils of Tarapacá Province.

A visit was paid to the famous oasis of Pica. Here agriculture flourishes on desert soils that are little more than pure sand. Pica is located on the lower foothills of the Andes, at an altitude of 1,350 m., where blown sands have smoothed the face of the foothills and buried an ancient dissected landscape. Pica actually lies above a buried quebrada, and the water that once flowed in this quebrada, now emerges in the sand as springs. The water is sweet but slightly tepid and has a pH of 7.1.

Levelling of the sand into shallow compartments, and irrigation with the water from the springs, has made possible the development of orchards of oranges, lemons and mangos; alfalfa is also being grown. It is possible that a survey of the hydrology along the eastern flank of the Pampa del Tamarugal might disclose other spring waters now buried under drifting sand, which would allow the development of other centres of orchard production. The airphotographs of the region should be re-examined with this possibility in mind.

In considering areas with potential for agricultural development in Tarapacá Province, one is being continually forced back to the problem of unknown, unproven groundwater supplies. Clearly more information about this natural resource is needed before farther and more detailed soil studies are undertaken. Only in the case of the Pampa del Tamarugal is there any reasonable amount of factual data available (13), (14), concerning the nature and probable flow pattern of groundwater. Even in this locality, further exploration needs to be undertaken along the higher eastern side of the pampa, and also in the all-important central strip where some of the best textured soils for agricultural development are located. The existing data does nothing more than suggest that strongly flowing streams of usable groundwater may be found at depth in this strip.

Likewise there is a considerable dearth of published information on previous agricultural experience in the region. Again, in the Pampa del Tamarugal the soils were quite extensively used for agriculture in the days when salitre mines were flourishing in the area. Fresh vegetables and fruit were grown to supply the miners, utilizing somewhat brackish water from shallow wells, and applying this to soils from which the upper saline crust had been previously stripped. Using this technique, an almost continuous chain of smallholdings ('chacras') was in operation along the western flank of the pampa. In the vicinity of Pintados, where deep wells had been constructed tapping water of good quality and ample flow, produce was raised in deep trenches using the soil close above the natural watertable, - a modern application of the ancient Inca and Pre-Inca technique. Even grapes were raised by this means. There are few records of this interesting experiment, but conversation with persons who participated suggest that the most important point was to keep the

evaporation of water at the soil surface to a minimum, thereby minimising the concentration of harmful salts in the topsoil. It was thus necessary that the soil be of sufficient depth above the natural watertable to prevent capillary movement of water to or near, the soil surface; furthermore the soils texture needed to be sufficiently light so that added irrigation water passed rapidly down to the watertable. If the irrigated water was temporarily held up by soil layers with a low infiltration rate, there was the danger of some of the water returning to the surface by evaporation, and leaving a harmful concentration of salt in the topsoil. A further lesson learned was that the poorer the quality of the irrigation water, the more necessary an open-textured, free-draining soil. This type of information is extremely pertinent to future agricultural endeavour in the region.

REFERENCES

- (1) GARNER, H.P., 1959: "Stratigraphic-sedimentary significance of contemporary climate and relief in regions of the Andes mountains", Bull. Geol. Soc. Amer. 70 (pp.1326-1368)
- (2) DRESCH, J., 1957: "Les types de relief morphoclimatiques et leurs limites dans les Andes centrales" Bull. Ass. franc. 263 (pp.2-19)
- (3) DRESCH, J., 1958: "Problemes morphologiques des Andes centrales". Ann. Geog. 67 (pp. 130-151)
- (4) DARWIN, C., 1837: "Voyage of the Beagle", London.
- (5) RODRIGUEZ, A., 1961: "Informe sobre la calidad de las aguas del Rio Lluta, afluentes, y Rio Caquena" Cyclostyled report prepared for the Junta de Adelanto de Arica.
- (6) POURTAUBORDE, J., 1961: "Programa de desarrollo del riego a la zona de Arica", FAO Report for Junta de Adelanto de Arica.
- (7) AMADEO FRANCISCO FREZIER, 1716: "Relación del viaje por el Mar del Sur a las costas de Chile, Perú y Brasil en 1713, y 1714".
- (9) KELLER, C., 1946: "El Departamento de Arica", Empresa Editorial "Zig-Zag", Santiago, Chile.

- (10) UZUA, L. 1947: "Arica, puerta nueva", Empresa Andres Bello, Santiago, Chile.
- (11) ALPAT'EV, A., & MALIUGIN, P., 1945: Experimental irrigation of desert sands with saline groundwater (Russian)., Dekl. Akad. S-Kh. Kauk, Nos. 3-4 (p. 36-40)
- (12) GARCIA ARMENO, L. DE & ROSSI, R., 1954: "Irrigating and reclaiming desert land in Perú" J. Soil Wat. Conserv., Balt., 2. (pp. 266-267: 270-274).
- (13) TAYLOR, G.C., 1957: "Informe Geológico de George C. Taylor Jr., U.S. Geological Survey" Cyclostyled report for Sección Regadío de la Corporación de Fomento de la Producción.
- (14) BRUGGEN, J., 1936: "El agua subterránea en la Pampa del Tamarugal, y morfología general de Tarapacá: Imprenta Universitaria (pp. 59), Santiago, Chile.
- (15) DE LA VEGA, GARCILASO ([†] 1600): "Royal Commentaries of the Yucas" Hakluyt Society, Vol. 45 (1871) ed. C.R. Markham.
- (16) YACOVLEFF & HERRERA: "Revisión del Museo Nacional de Lima" No. 3 pag. 241-322.

LEGEND TO ACCOMPANY 'SKETCH MAP OF SOILS, TARAPACA PROVINCE'

Soils showing some measure of zonal impress:					
	LANDSCAPE	PARENT MATERIALS	VEGETATION	SYMBOL	SOIL ASSOC.
ZONE I (Altiplano)	Undulating to Strongly rolling	Mixed volc. ash	Tola-Stipa	Pu	PUTANI
		Mixed volc. ash etc.	Tola-Stipa	Hu	HUMAPALCA
		Mixed volc. (pum.) ash	Stipa-Tola	Lu	LAUCA
		Mixed volc. coll. etc.	Stipa-Tola	Gu	GUALLATIRI
	Hilly to moderately steep	Mainly greywacke (x)	Llareta-Stipa	Cp	CHAPIQUIÑA
		Rhyolite	Llareta-Stipa	Cn	CARACARANI
		Rhyolite	Stipa-Tola	Tg	TAPINGA
		Basic andesite etc.	Llareta-Stipa	Ch	CHUNGARA
	Steep to very steep	Acid volcanic rocks	Llareta-Alpine	Co	COSAPILLA
		Basic volcanic rocks	Llareta-Alpine	Tc	TACORA
ZONE II (Cordillera & Precordillera)	Undulating to Strongly rolling	Volcanic ash & coll.	Tola	Pq	PUQUIOS
		Pum. volc ash etc.	Tola	Ox	OXAYA
		Colluvium & ash	Tola-Stipa	An	ALONA
	Hilly to moderately steep	Paleozoic schistose sediments	Stipa-Tola	Qh	QUEHUITA
		Indurated sediments	Tola-Stipa	Mm	MAMINA
		Marine sed. & volcan.	Tola-Stipa	Tt	TAMENTICA
		Rhyolite & marine sed.	Tola-Cactus	Cy	CHACAYA
		Mainly rhyolite	Tola-Cactus	Cm	CHISMISA
		Paleozoic sediments	Tola-Cactus	Um	URUMA
	Steep to very steep	Granite	Tola-Cactus-Stipa	Yc	YARVICOYA
		Indurated sediments	Queñua forest	Pc	PACHAMA
		Indurated sediments	Queñua-Tola scrub	Sp	SAPAHUIRA
		Indurated sediments	Tola-Stipa	Pr	PATARA
		Marine sed. & volcan.	Tola-Stipa-Cactus	Ex	EMPEXA
		Acid volcanic rocks	Tola-Cactus	Th	TICNAMAR
		Acid volcanic rocks	Cactus	Gl	GUALELLAS
		Acid volcanic rocks	Cactus-Tola	Si	SITILCA
		Quaternary sediments	Occasional cactus	Po	POROMA
	Flattish to rolling	Quaternary sediments	Without plant cover	Cz	CHIZA
		Quat. sed. & coll.	Without plant cover	Pz	PISSIZ
		Post-Quat. sediments	Without plant cover	Lc	LA CONCORDIA
		Paleozoic rocks	Without plant cover	La	LAMARA
ZONE III (Llanos & coast & lowland)	Hilly to moderately steep	Granite	Without plant cover	Pg	PISAGUA
		Indurated sedim. etc.	Without plant cover	Cc	CAMARACA
		Acid volcanic rocks	Without plant cover	Uy	UMAYANI
		Acid volc. & sediments	Without plant cover	Qp	QUIPISCA
		Granite	Xerophytic shrubs	Ju	JUNIN
	Steep to very steep	Indurated sediments	Xerophytic shrubs	Ag	ARGOLLA
		Mainly acid volcanics	Without plant cover	Lv	LIVILCAR
		Mainly acid volcanics	Without plant cover	Ph	POCONCHILE

LEGEND TO ACCOMPANY 'SKETCH MAP OF SOILS, TARAPACA PROVINCE' (2)

Environmental zone	Soils showing little or no zonal impress:				
	LANDSCAPE	PARENT MATERIALS	VEGETATION	SYMBOL	SOIL ASSOC.
	<u>Weakly accumulating desert soils.</u>				
III	Flattish	Alluvium & colluvium	Occas. Tamaruga	H	HUARA
III	Flattish	Alluvium & colluvium	Occas. Tamaruga	Cs	CANCHIONES
III	Flat to undul.	Alluvium & colluvium	Former Tamaruga	Tu	TAMARUGA
III	Gently undul.	Mainly alluvium	Occas. xer. scrub	Ta	TARAPACA
III	Undul. to rolling	Colluvium, blown sand	No plant cover	Pi	PICA
	<u>Alluvial soils.</u>				
III	Flat. etc.	Mixed alluvium	Riverain scrub	Az	AZAPA
III	Flat. etc.	Mixed alluvium	Riverain scrub	Ll	LLUTA
III	Flattish, undul.	Alluvium & colluvium	Usually no veget.	Li	LLOSYAS
III	Flattish, undul.	Alluvium & colluvium	Riverain scrub	Cd	CODPA
II	Flattish, undul.	Alluvium & colluvium	Riverain scrub	B	BELEM
	<u>Very strongly salt-impregnated soils.</u>				
III	Flat	Alluvium	Salt-grass etc.	Zp	ZAPIGA
III	Flat, undulating	Alluvium	Usually no veget.	Pt	PINTADOS
III	Undul. to rolling	Alluvium	No plant cover	So	SOLEDAD
I	Flattish	Alluvium	Salt scrub etc.	Su	SURIRI
	<u>Organic soils.</u>				
I	Flattish	Cushion-bog residues	Cushion-bog plants	P	PARINACOTA