

# SANITARIOS SOLARES EN EL PARQUE PROVINCIAL ACONCAGUA

G.A. Sayavedra\* - I.J. Lucero\* - J.C. Fernández Llano\*\*

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - LAHV

CRICYT - CC 151 - 5500 -Mendoza

Grupo Estudios Sobre Tratamiento de Aguas Residuales - GESTAR

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo

Centro Universitario -Pque. G.San Martín - 5500 Mendoza

## RESUMEN

El Parque Provincial Aconcagua se ubica en la Provincia de Mendoza; allí se encuentra un importante centro internacional de andinismo, denominado Plaza de Mulas (4.200m s.n.m.), al pie del Cerro Aconcagua. Los residuos arrojados por los andinistas que anualmente lo visitan, producen un importante deterioro en el medio ambiente. Una forma de reducir el impacto que producen las excretas humanas, es construyendo sanitarios que mediante el uso de energías alternativas, permiten la reducción de la materia orgánica para su adecuada disposición final. El secado de la materia orgánica facilita el manejo posterior de los sólidos, reduce los costos de transporte y detiene el proceso de descomposición durante el almacenamiento y transporte.

Este proyecto tiene los siguientes objetivos:

- .Poner en funcionamiento un servicio sanitario en el Parque Aconcagua que permita el tratamiento de las excretas humanas y con mínimo impacto para el medio ambiente
- .Ofrecer un servicio sanitario adecuado a las necesidades del lugar
- .Construir un prototipo que permita evaluar las variables mas importantes para su posterior optimización.

El trabajo surge de un emprendimiento privado tendiente a solucionar un problema ambiental con el asesoramiento del sector Científico Tecnológico (LAHV-GESTAR) y la financiación mayoritaria del Gobierno de Mendoza, a través de sus Políticas de Promoción e Innovación Tecnológica (Dirección de Desarrollo Científico y Tecnológico - Ministerio de Cultura, Ciencia y Tecnología del Gobierno de Mendoza)

## INTRODUCCION

El Parque Provincial Aconcagua con su campamento base del cerro Aconcagua (Plaza de Mulas) constituye uno de los recursos turísticos mas importantes de la Provincia, en lo que a actividades de montaña se refiere. Desde hace 40 años, cuenta con una importante afluencia de andinistas, llegando en los últimos tiempos a valores de 2760, de los cuales 2000 fueron extranjeros (cifra registrada durante la temporada 1995-96). En un principio, los visitantes del parque arrojaban en el lugar residuos de todo tipo, sin que esto constituyera un perjuicio evidente al medio ambiente; sin embargo, este problema se incrementó con el transcurso de los años. Como un principio de solución, se implementaron letrinas que posibilitaron la concentración de excretas en un determinado lugar en contraposición a la dispersión de las mismas producida anteriormente. Las condiciones climáticas extremas de la región inhiben la degradación y posterior estabilización de la materia orgánica, haciendo inapropiado el uso de letrinas. Este sistema estuvo en vigencia durante los últimos años, produciendo una acumulación de materia orgánica no degradada que atenta contra las condiciones del medio ambiente.

En una encuesta realizada durante la temporada 1994/95 a los visitantes usuarios del Parque y cuyo universo fue de 400 (1), se detectó como una de las principales preocupaciones la ausencia de sanitarios adecuados y el tratamiento de los residuos.

El Cerro Aconcagua y su entorno constituye un importante centro del andinismo internacional que atrae a numerosos deportistas durante cada temporada, haciéndose imprescindible la adopción de un sistema adecuado para el tratamiento de los residuos en general y de las excretas, en particular.

## ANTECEDENTES

Se registran diferentes experiencias en centros internacionales de andinismo basados en la deshidratación solar de los sólidos provenientes de las excretas humanas: Parque Nacional Mount Rainier (EEUU), Parque Nacional Rocky Mountain (EEUU), Campamento Base Tibetano del Monte Everest (Tibet) Existen también otras experiencias como la de ARTESOL - Chile (2)

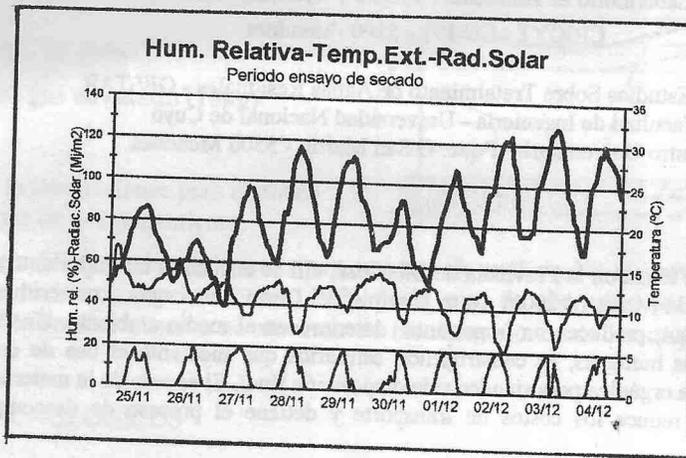
## ENSAYOS PREVIOS DE SECADO

Para determinar el tiempo necesario para el secado de la materia orgánica (materia fecal) se llevaron a cabo algunos

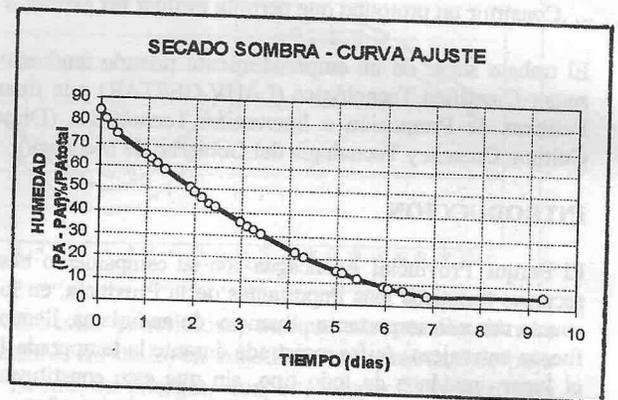
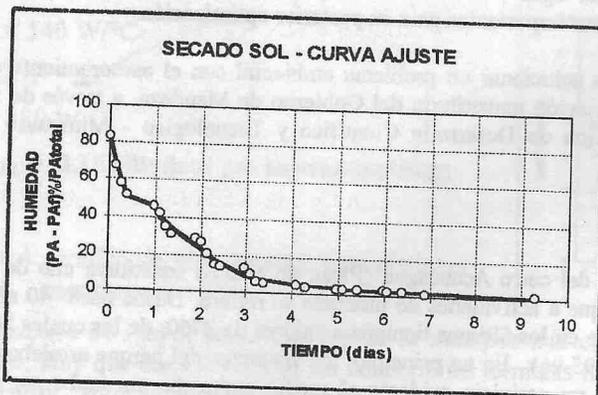
\* BIOTEC Fray Inalican 535 5500 - Mendoza

\*\* Profesional Principal CONICET

ensayos preliminares. Estos ensayos se desarrollaron en condiciones ambientales de humedad y temperatura en el periodo Noviembre y Diciembre, cuyos datos se grafican a continuación.



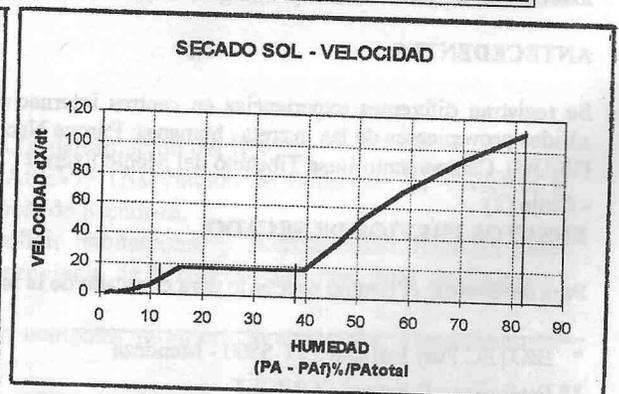
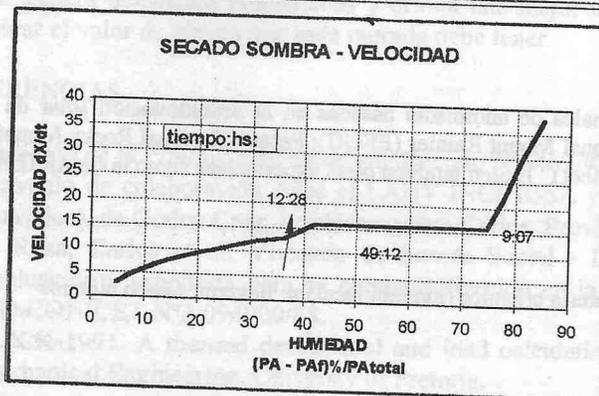
El ensayo consistió en colocar una masa conocida de materia fecal expuesta a la radiación solar directa y otra en similares condiciones, pero sin la incidencia del sol (sombra). Se determinó la humedad del material a intervalos relativamente constantes mediante sucesivas pesadas. El resultado de dichas experiencias se grafican a continuación:



PA: peso neto total (gr). PAf: peso final de sólidos

En la siguiente tabla se resumen la humedades iniciales y finales de las experiencias realizadas:

	humedad inicial Kg H <sub>2</sub> O/Kg sol seco	humedad inicial (%)	humedad final Kg H <sub>2</sub> O/Kg sol seco	humedad final (%)
sol	4.93	83.2	0.085	1.4
sombra	5.69	85.1	0.34	5.1



La velocidad de secado se obtiene teniendo en cuenta la pérdida de la humedad por unidad de tiempo ( $dx/dt$ ). Para calcularla, se obtuvo primero por regresión, una curva de ajuste correspondiente a la variación de la humedad en función del tiempo:  $x = f(t)$ , posteriormente, se encontró la derivada respecto del tiempo. Así se obtuvieron las curvas anteriores.

En la tabla siguiente se observan algunos parámetros característicos de la velocidad de secado:

	hum.equilib. c/el aire $X'$	0 dias	t horas	humedad crítica $X_c$	0 dias	t horas
sol	8 %	3.10	74hs. 24'	15.48 %	2.43	58hs 19'
sombra	8.5 %	6.06	145hs. 26'	42.13 %	2.43	58hs. 19'

$X'$  humedad de equilibrio: es la humedad del sólido en condiciones de equilibrio entre la tensión de vapor en el sólido y la presión parcial del vapor de agua en el aire. Se obtiene de los gráficos de  $X = f(t)$  y es el valor de la humedad correspondiente al punto en donde la curva se hace asintótica. Como era de esperar, la humedad de equilibrio no presenta diferencias apreciables entre ambas experiencias. No obstante, en el secado al sol, el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio se reduce a la mitad

$X_c$  humedad crítica: se obtiene del gráfico de velocidad  $dX/dt = f(X)$ . Es el valor de humedad correspondiente al punto donde la velocidad deja de ser constante y comienza a disminuir.

Se considera que estas experiencias son representativas del comportamiento de la materia fecal cuando se pretende secarla bajo condiciones ambientales y solo son orientativas en cuanto a lo que sucede en el secado dentro del contenedor donde se almacena. Es por ello, que estas experiencias se consideran como situaciones extremas en cuenta a la incidencia o no de la radiación solar como fuente de energía térmica para el secado.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto propone la construcción de sanitarios destinados a usuarios del campamento ubicado en el Parque Provincial Aconcagua. Se construyó una estructura liviana desmontable con compartimentos para 2 duchas con agua fría y caliente, 2 lavabos y 3 inodoros.

**Inodoro:** presenta un separador anatómico de orina y sólidos. Los sólidos son conducidos hacia un contenedor expuesto a la radiación solar, la cual incide sobre una cubierta transparente permitiendo la ganancia directa de energía solar. La energía absorbida determina la elevación de la temperatura en el interior del contenedor, favoreciendo el proceso de secado de la materia orgánica allí presente. Este comienza mientras se produce el llenado del contenedor, el cual posteriormente se reemplaza por otro, continuando el proceso de deshidratación con el contenedor lleno en la playa de desecación. Debido a las condiciones de gran amplitud térmica del lugar, la deshidratación no es continua, interrumpiéndose durante las noches. Para evitar esto, se implementó un sistema de intercambio de calor y aislación que permite mantener una temperatura interior adecuada en el contenedor para un secado continuo. De acuerdo con los antecedentes analizados, los sólidos experimentan una reducción de peso entre el 50 y el 75% conjuntamente con una disminución del volumen. El destino final de los sólidos es su incorporación al suelo o bien, trasladados en contenedores a lugares que estén preparados para tal fin (por ejemplo, relleno sanitario). Por otro lado, la orina es conducida desde los diferentes inodoros hacia un tanque común de almacenamiento o bien, hacia soleras de evaporación durante los días soleados. Los líquidos remanentes almacenados son desinfectados mediante cloro e infiltrados posteriormente en el suelo, libre de microorganismos patógenos.

**Lavabos.** El sistema está provisto de agua fría y caliente, mediante el uso de calefones solares. Se prevé la utilización de jabones con bajo poder contaminante. El desagüe se realiza a través de una cañería que permite su infiltración al terreno.

**Contenedores.** Los contenedores destinados a la acumulación de los sólidos tienen una capacidad de 50 l aproximadamente. Existe un contenedor para cada inodoro. Los contenedores poseen una cubierta transparente que permite captar la radiación solar durante las horas diurnas. Esta parte transparente se cubre durante las noches con una tapa adecuadamente diseñada que actúa como superficie reflectante durante el día. El contenedor se encuentra inclinado favoreciendo una distribución uniforme de la materia orgánica por un lado y una mayor ganancia de radiación solar por otro. Los contenedores están provistos de un sistema de serpentines para el intercambio de calor mediante agua caliente proveniente de los tanques de almacenamiento, calentada por los colectores solares o bien, por resistencias eléctricas cuya energía se produce mediante un generador eólico.

**Generador Eólico** El sistema está compuesto por un aerogenerador de 12 V y 63 A, el cual alimenta a un banco de baterías de 200 Ah. Este sistema de generación de energía tiene la función específica de suministrar iluminación y energía térmica para los tanques de almacenamiento de agua caliente cuando fuera necesario.

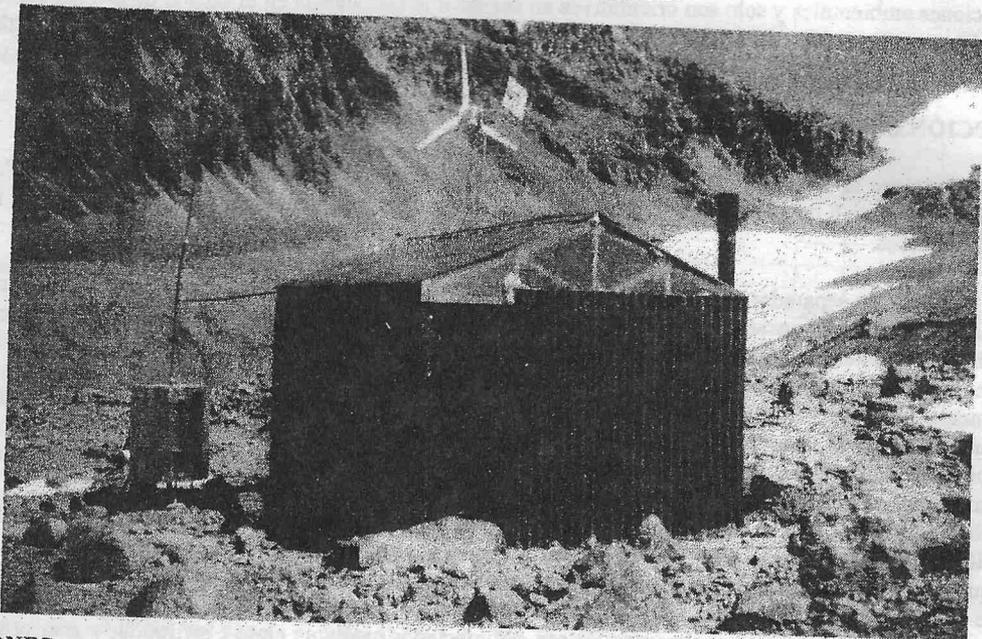
**Calefón Solar** Este sistema de captación de la energía solar para el calentamiento de agua está destinado por un lado al suministro de agua caliente en los sanitarios y por otro, al intercambio de calor mediante serpentines a fin de mantener una temperatura adecuada para el secado de los sólidos en los contenedores. El calefón solar está constituido por 5 placas colectoras (5 m<sup>2</sup>) resistentes a las bajas temperaturas y 2 tanques de almacenamiento de 200 y 100 l, respectivamente.

**Características de la cabina destinada al sanitario.** La cabina esta construida con materiales livianos que permiten un armado y desarmado de acuerdo a las necesidades al inicio y fin de cada temporada. Esta característica permite su traslado a lomo de mula. Sus dimensiones son: 4 m x 3 m y techo inclinado a dos aguas de 2 m de altura mínima. Los muros, piso y techo son de caños estructurales de 40 x 40 x 2 mm. Los muros y la cubierta son de chapas flexibles de fibras minerales y vegetales saturadas con emulsión bituminosa, resistentes a las inclemencias climáticas. El piso es un entablonado de madera.

**Sistema de monitoreo** Dado que existen variables que son fundamentales en el proceso de secado, se prevé implementar un sistema de medición para las condiciones ambientales y dentro de los contenedores (Temperatura, Humedad y Presión). El monitoreo de estas variables permitirá un manejo más eficiente del sistema de deshidratación de los sólidos.

## EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Debido a diferentes complicaciones surgidas para la ejecución de este proyecto, durante la temporada 95/96 (meses de Diciembre, Enero y Febrero) pudo llevarse a cabo solo una parte del mismo. La cabina destinada al sanitario fue construida totalmente albergando como se había previsto 2 lavabos, pero de los 3 inodoros solo se instaló uno al igual que se habilitó una ducha de las 2 proyectadas. Si bien se instalaron los calefones solares y el aerogenerador, quedó pendiente el sistema de intercambio de calor en los contenedores. El sanitario en estas condiciones fue habilitado en Plaza de Mulas a partir del 14/02 hasta el 04/04/96, con un total de 375 usuarios del inodoro y 150 para la ducha. La siguiente fotografía muestra la cabina sanitaria, el aerogenerador y el termotanque del calefón solar.



## CONCLUSIONES

Los sanitarios con aprovechamiento de la energía solar constituyen un sistema eficiente para la reducción de los residuos generados por el hombre, si bien su experimentación en este proyecto, se encuentra en su etapa inicial. Los sanitarios en Plaza de Mulas funcionaron durante los últimos 15 días de la temporada 1995/96. El futuro monitoreo de todas las variables involucradas en el secado solar, permitirá un manejo adecuado del mismo como así también, la evaluación de su eficiencia.

## BIBLIOGRAFÍA:

1. Michel, Maria P. (1995) "Estudio del Parque Provincial Aconcagua - Temporada 94-95". *Dirección Recursos Naturales Renovables-Gobierno de Mendoza*.
2. P.Serrano Rodriguez, L.Seguel Ramirez, ARTESOL. (1992.) "Letrina Solar Seca". *Actas VII Seminario Nacional de Energía Solar y Eólica. Valparaiso - Chile*.
3. A.Vian, J.Ocón. "Elementos de Ingeniería Química"