

Procesamiento de imágenes para la clasificación masiva de frutos basado en el color

D'Amato, Juan Pablo; García Bauza, Cristian; Vénere, Marcelo; Clause, Alejandro

UNICEN, PLADEMA-ISISTAN

Abstract

Generalmente la apariencia externa de la fruta, es uno de los factores primordiales para su evaluación. El color de la fruta es tomado en las empresas frutihortícolas como un estándar que determina su calidad, indicando maduración, salubridad, etc. Esto también se extiende al gusto de los consumidores, quienes son atraídos por la distribución uniforme del color en la superficie.

En el caso de las manzanas, el color determina también de qué tipo o variedad es la fruta (red delicious, granny smith, etc). Hoy en día la clasificación y los rangos de color aceptables para las distintas calidades de manzanas es realizada basándose en medidas empíricas dispuestas por expertos del ramo.

En este trabajo, presentamos un sistema mecánico-digital para la captura y clasificación de lotes de fruta por color en tiempo real; propuesto como incorporación a una línea de transporte de fruta, testeado particularmente con distintas variedades de manzanas.

Se brinda una solución que emula el criterio del ojo humano en la clasificación de frutas. En base a imágenes de la línea de transporte, el algoritmo genera una salida indicando la calidad del objeto observado. Esta salida es usada para la manipulación de la maquinaria que distribuye los frutos en distintos empaques.

Palabras clave— clasificación de fruta, procesamiento de imágenes, espacio de colores

I. INTRODUCCIÓN

La clasificación de frutas por color, en muchas empresas empaquetadoras es aún un proceso artesanal. Incluir en las maquinarias de pesado automático, un sistema anexo de evaluación óptica es inaccesible para varias de estas empresas (comúnmente pequeñas y medianas) debido a los costos de reimplantación y modificación de las líneas de transporte que esto conlleva. Generalmente la solución que

se les brinda es desechar las máquinas de clasificación automática por peso cambiándolas por nuevos equipos que clasifiquen conjuntamente por peso y color. Hoy en día, numerosas de estas empresas no pueden afrontar tales gastos y para suplir esta limitación, la etapa de clasificación por color se realiza manualmente con mesas de trabajo [Figura 1], donde los operarios clasifican el fruto por la experiencia ad-hoc que ellos mismos han adquirido; ubicando las manzanas por su calidad en diferentes líneas.



Fig. 1: (Arriba) El proceso manual de clasificación de color y defectos. (Abajo) La línea de transporte

con 4 líneas. Pueden verse los depósitos circulares a ambos costados.

En los sistemas existentes, a lo largo de la cadena de transporte se ubican depósitos circulares en los que son derivadas las manzanas mediante un conjunto de bandejas móviles. Estos sistemas que ya automatizan la clasificación según el peso del fruto, trabajan de manera digital, y de acuerdo a una tabla de salidas lógicas, se define el depósito en el que debe caer la manzana, clasificándolas y dejándolas listas para ser empaquetadas.

Por ejemplo, se determina que en el depósito 1, caerán todos los frutos cuyo peso se encuentre dentro del rango 90gr-105gr. [Figura 2]

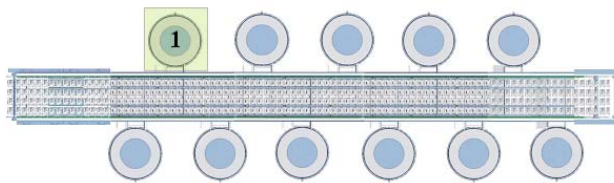


Fig. 2: Esquema de Vista en planta de una línea de transporte. A los costados se ubican los depósitos de frutos.

Para incorporar el sistema de clasificación por color, se modifica la línea de transporte existente, anexándose el nuevo módulo mecánico-digital. Finalmente se combina la salida obtenida de la clasificación por peso con el resultado de la clasificación de calidad por color. Aquí surgen problemas de sincronización (del conjunto de problemas conocidos como productor-consumidor), a los cuales propondremos una solución en este trabajo.

Para implantar el sistema en el mismo ambiente para el cual fue desarrollado, se creó un prototipo de pruebas emulando las máquinas existentes que clasifican automáticamente por peso. Este prototipo se describe al comienzo de la siguiente sección.

II. EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

En el prototipo construido se emuló un modelo a escala de una máquina industrial de varias líneas.

Estas líneas se conforman de rodillos por los que se transporta la fruta. Los rodillos son controladas por dos motores, uno de movimiento de rotación y otro de traslación, pudiendo armar así distintas configuraciones de máquinas, cargas y lotes de procesado.

Sobre las líneas, se monta una caja con intensidad controlada de luz que encierra una o más cámaras de video. Dichas cámaras se colocan en soportes graduables que permiten ser configurados para testear los distintos resultados en la adquisición de las imágenes. En el caso del prototipo, se utilizó una sola cámara. Este sistema guarda ciertas similitudes con el presentado en [1].

El video se captura de forma continua, a una velocidad de 30 fps y cada cierto intervalo de tiempo se seleccionan los frames a ser analizados. La cámara utilizada (comercial estándar), es una cámara Samsung SCD 364 que permite capturar videos a una resolución de 720*480 píxeles. Dentro de la caja se monta un sistema de iluminación completo, que permita generar un entorno con iluminación controlada y uniforme, que no genera brillos indeseados al reflejarse sobre la superficie del fruto y que minimiza la entrada de luz del exterior. La cámara se encuentra conectada a una PC estándar mediante una conexión de video IEEE1384. Algunas imágenes del prototipo los vemos en la [Figura 3].



Fig.3: (Izq.) Captura desde adentro de la caja de ambiente controlado mostrando tres líneas. (Der.) Esquema del prototipo montado. (Abajo) Prototipo implementado de pruebas

En el prototipo se implementó mecánicamente un sistema de rotación y traslación de rodillos el que asegura que prácticamente toda la superficie de la manzana es vista por la cámara mientras se desplaza debajo del lente. Así es posible tomar varias imágenes de cada fruto y seleccionar las que sean de utilidad. El método de selección y procesamiento de la imagen se describe en la siguiente sección.

El software, denominado *SIIF*, compuesto por la interfaz de usuario y los algoritmos de clasificación de imagen ha sido desarrollado en el entorno Borland Delphi bajo Windows XP, utilizando una máquina de escritorio con características básicas.

A. Procesamiento de la imagen

La adquisición de las imágenes debe estar sincronizada con un temporizador de manera de asegurar que se cubra toda la

superficie del fruto con las imágenes obtenidas desde el video capturado. Según pruebas propias y estudios estadísticos realizados se estima que bastan entre 3 y 5 capturas para lograr obtener todo el entorno de la fruta. Cada imagen conceptualmente, genera un Strip ortogonal a la línea óptica de la cámara. Cuantas más imágenes se obtienen, más se reduce la probabilidad de perder información, principalmente se tiene la certeza de evitar la pérdida de información por la curvatura natural del fruto. Es claro, que lo negativo de capturar más imágenes es que puede surgir cierta redundancia.

Asumamos que tenemos un conjunto de n imágenes asociadas a un fruto. Estas imágenes son luego alineadas para recrear la “piel” o cáscara del fruto (como si el efecto fuera que estuviéramos extrayendo la piel, y estirándola sobre una superficie). Con esto se consigue que la imagen resultante sea representativa de la calidad de toda la manzana y no de una parte en particular (como lo sería si se tomara una única foto de costado o de arriba).

Cada imagen, se integra con las adyacentes, surgiendo en ciertos casos secciones de solapamiento. El tamaño y posición de la sección de solapamiento, dependen de la velocidad de rotación de la maquinaria y de la morfología del fruto: dos frutos no rotan a la misma velocidad, y en ciertos casos, tampoco en la misma dirección. En este trabajo no se propone una técnica formal para evitar la redundancia, se toman en cada instante de las imágenes los sectores centrales del fruto y se combinan para la salida final.

La segunda tarea del procesamiento comprende la segmentación de la imagen de la fruta con respecto al fondo de rodillos. Esta tarea se realizó aplicando operaciones de imagen, básicamente filtros de umbralado y una transformación [3] del espacio de colores RGB (*red, green, blue*) al espacio HSL (*hue, saturation, lightness*).

Definiendo adecuadamente un *umbral* para los valores de iluminación (canal *Lightness*), como se propuso también en [4], es posible extraer en una pasada los píxeles que corresponden al fruto, como se ve en la [Figura 4]. El valor de umbral se calcula estadísticamente desde una captura de la línea vacía.

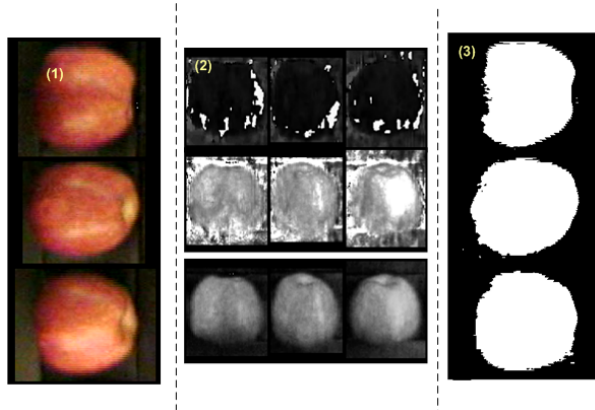


Fig. 4: (1) Captura de la imagen sobre la línea en tres instantes de tiempo, (2) Separación en canales HSL (3) Umbralado en base al canal L

Para el algoritmo de determinación de calidad del fruto se aplica un criterio sencillo de penalidad-cumplimiento. Se definen rangos de cromaticidad (*Hue*) en los cuales se encuentran generalmente los valores buscados o aceptados de la variedad de fruta analizada. Por ejemplo, en una manzana de tipo “*Red Delicious*”, los rangos buscados oscilan alrededor del 0 (rojo intenso), en una “*Granny Smith*” alrededor del 50(verde-amarillo) [Figura 5]. De estos colores se determina en que proporción deben aparecer, dependiendo del grado de cumplimiento de cada distribución, se obtiene la calidad del fruto. Por ejemplo, bajo los ojos de un experto, una manzana *Red Delicious* de la mejor calidad (Clase 1) debe concentrar más del 90% del color rojo. Estas técnicas de análisis basadas en la distribución de la cromaticidad también fueron estudiadas en [4] y [6]

Más allá de este concepto, no se puede clasificar adecuadamente una fruta sólo por un porcentaje del color buscado para

determinada variedad. Por ejemplo, supongamos el caso de la aparición de colores rojizos sobre una manzana verde. Estos son fácilmente distinguibles y aunque la manzana cumpla el valor buscado de cromaticidad verde, la cantidad de color rojo que contiene degradará en mayor o menor medida la calidad del fruto. Aunque cumple la relación de color para la mejor calidad, tiene un porcentaje de color no deseado.

Generalizando este concepto a más rangos, podemos agrupar esta información como un cuadro de **Calidad/Proporción Color**. Ahora la calidad de un fruto se define como la satisfacción simultánea de varias restricciones, algunas de ellas son por cualidades positivas (cumplimiento) y otras por negativas (penalidad). Por ejemplo “poseer un porcentaje mayor a 90% de color *XX*” y “poseer un porcentaje menor a 5% de color *YY*”.

En la implementación se utiliza una tabla de doble entrada como la mostrada en [Tabla 1], donde se indican los intervalos de cromaticidad (Intervalo 1, Intervalo 2, etc.) positivos y negativos.

De forma iterativa, de mayor a menor calidad, se comparan los valores extraídos de un fruto con el cuadro, hasta encontrarse la clase a la cual pertenece el fruto. Sino cumple ninguna de las características, se descarta. El ejemplo de la [Tabla 1] representa una distribución propuesta para manzanas verdes (variedad *Granny Smith*).

	Intervalo 1 (40..60)	Intervalo 2 (60..120)	Intervalo 3 (0..35)
Clase 1	85%	12%	3%
Clase 2	60%	33%	7%
Clase 3	51%	39%	10%

Tabla N° 1: Intervalos de aceptación / penalidad y su correspondiente calidad

Supongamos que se aplica el esquema presentado a una manzana *Granny Smith* como la mostrada en [Figura 5]. Se extrae la distribución de la cromaticidad y se

verifica que el rango de cantidad de color verde-amarillento (rango 40-60 de Hue como indica la tabla del Intervalo 1) debe ser superior al 85%.

Aunque la fruta cumple esta regla para pertenecer a calidad de Clase 1; por la concentración del color de penalidad *rojo-naranja intenso* (rango 0-35 de Hue, Intervalo 3) en un porcentaje mayor al 7% queda definida como *Clase 3*.

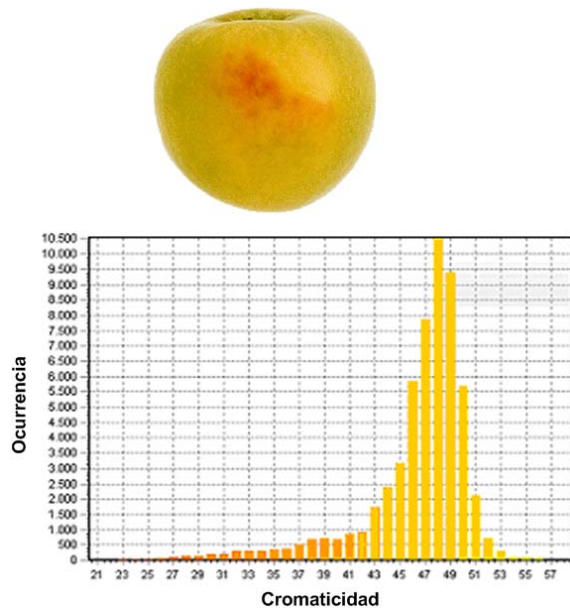


Fig. 5: (Arriba) Imagen de una manzana Granny Smith; (Abajo) Distribución de cromaticidad (Hue) de la manzana

B. DISCRETIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN

A fin de obtener las imágenes requeridas para la clasificación, es necesario determinar adecuadamente en que momento y lugar se encuentra una manzana. Para esto, se propone dividir la imagen en un conjunto de *sectores de muestreo o celdas* [Figura 6] y se asocia el tiempo de esa captura. Se exige que la celda coincida con el área central del fruto, lo que es análogo a que concuerde con el espacio entre rodillos. Para que el centro del fruto coincida con el de la celda, se requiere un tiempo inicial de sincronizado.

Si llamamos t_0 a este tiempo inicial de sincronizado, luego la manzana identificada se encontrará en un instante $t_0 + n*it$ en la n -ésima celda, y así sucesivamente (donde

it es un intervalo de tiempo constante, calculado previamente).

La variable it indica de alguna manera el paso de tiempo entre captura y captura, de acuerdo a la sincronización original.

Obviamente, para el caso que la velocidad de trabajo varíe, se deberá recalculer el tiempo it , de la forma que propondremos en la siguiente sección.

Las celdas que contienen frutas se marcan como activas y se les asocia un identificador único.

De esta manera se tiene identificada unívocamente a cada manzana y es posible capturar y asignar un conjunto de 4 o 5 imágenes al mismo fruto en distintos instantes de tiempo.

Para determinar si una celda contiene una manzana se utiliza el algoritmo explicado en la sección anterior [Figura 4].

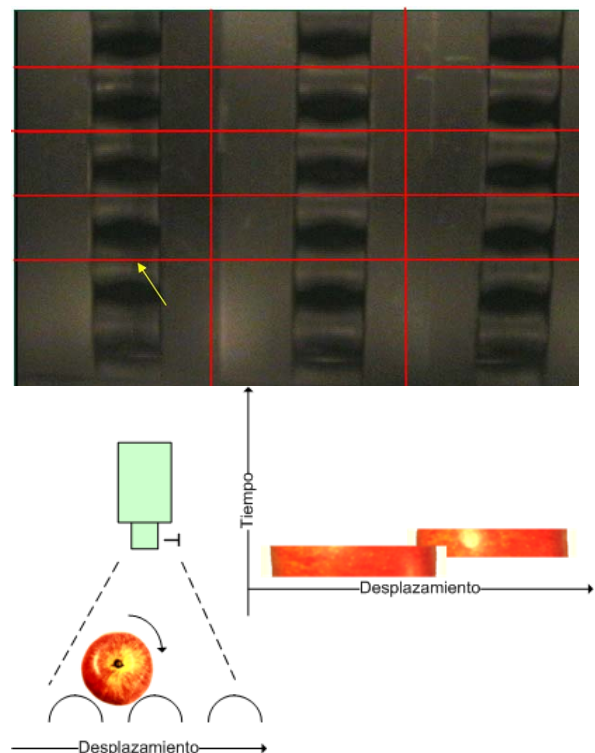


Fig. 6: (Arriba) imagen Seccionada en celdas, (Abajo, Izq.) Disposición del sistema óptico; (Abajo, Der.) Comportamiento de la imagen en el tiempo desde el punto de vista de la cámara.

Si un fruto ya tiene asociado la cantidad de imágenes necesarias, se ejecuta el algoritmo de clasificación, para determinar la calidad

de la fruta, y se almacena en el registro correspondiente, en una estructura como la [Tabla 2].

#Frame Video	Salida Línea 1	Salida Línea 2	Salida Línea 3
335	-	-	-
336	-	1	-
337	1	-	1
338	1	-	-
339	-	3	-
340	1	-	-
341	-	1	2

Tabla Nº 2: Asociación de un registro en memoria con un conjunto de imágenes y una salida

A continuación se detalla el pseudo-código del algoritmo de clasificación por cada nueva imagen obtenida, en un tiempo cualquiera TN :

```

-- Se verifica la condición de coincidencia
con la celda
    Si no es frame_Valido(TN) entonces
        Abandonar_función();
    Sino
        --Se detecta si entro un nuevo fruto en
        la línea
        Para todas las líneas L
            Si detecta_Nuevo_Fruto (L) entonces
                añadirCeldaActiva ( L );
--Se recorre las celdas de la matriz activas,
aquellas que contienen un fruto
--Guardo en la celda la sección del video que le
corresponde
    Para todas las celdas activas CA
        CA .añadirFrame ( CA.RegionVideo);
        CA.desplazar_region();
Si CA.Nro_Frames = Max_Frames entonces
    CA.Calidad = Calcular_Calidad();
GuardarResultado(CA)
Liberar(CA)

```

C. Sincronización

El valor calculado it es sensible al grado de carga y velocidad de la línea.

Por la naturaleza del entorno, la velocidad de los rodillos en las maquinarias utilizadas no es constante en el tiempo. Los rodillos sufren un desplazamiento en el tiempo, producto de alguna variación en la potencia

de la máquina, o de un mayor grado de carga.

Este problema puede solucionarse mecánicamente, al incluir un dispositivo eléctrico que indique con un pulso el momento en el que pasó un rodillo. Al no disponer de uno en la versión prototipo, se concibió una técnica para calcular la velocidad de avance de la cinta y así determinar correctamente el tiempo de muestreo it .

De antemano tenemos conocimiento de cómo es la imagen y que el fruto se encuentra en el espacio entre rodillos [Figura 7.a]. Si extraemos el perfil de los rodillos en una línea, obtenemos una distribución como el de la [Figura 7.b]

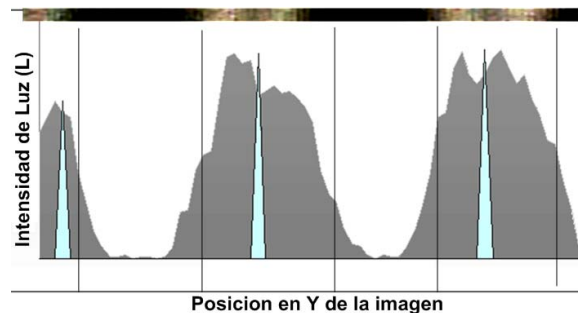


Fig. 7: (7.a Arriba) Corte longitudinal en un tiempo de la imagen de la línea de transporte; (7.b Abajo.) Perfil de intensidades de la misma, para extraer los valles y los picos.

Aunque no son histogramas ideales, (producto de la baja calidad del video y del movimiento), es posible distinguir un intervalo de *picos* y *valles* de intensidad de luz (indicados con color celeste en la [Figura 7.b]). Tomando una serie de perfiles sucesivos con el tiempo asociado, se calcula la velocidad de desplazamiento y el tiempo requerido para que la cinta cubra la distancia entre celdas. La única limitación es que en caso que se requiera re-sincronizar el sistema, debe dejarse un lapso neutro, donde se analice la imagen libre de frutos que alteren los histogramas.

D. Entrenamiento del sistema

Aparte del módulo principal de clasificación, se desarrolló un módulo de

entrenamiento. Este módulo se utiliza para preparar el algoritmo antes de la clasificación de los frutos. También sirve de soporte a usuarios inexpertos; y al mismo tiempo para facilitar la tarea de aquellos que son experimentados.

El procedimiento propuesto, consiste en seleccionar manualmente tres lotes, uno por cada calidad, con una cantidad de por lo menos 10 frutos representativos cada uno. A continuación, se inicializa el módulo de entrenamiento y se desplazan por la línea un lote por vez, indicándole al sistema a que calidad pertenece el lote. Al finalizar la carga, el sistema extrae la distribución acumulada de cromaticidad de cada calidad, y genera automáticamente una tabla como la que se mostró en la [Tabla 1].

Dado que el sistema fue concebido con la idea de convivir con dos tipos de usuarios (tanto expertos como los que no lo son), se permite generar este cuadro de dos formas diferentes.

1. El usuario define cuales son los porcentajes deseables de cromaticidad, con rangos de color ya preestablecidos, y el sistema calcula los intervalos de aceptación de cada calidad (para usuarios no expertos)
2. El usuario define manualmente los intervalos de cromaticidad y el sistema adopta las proporciones resultantes (para usuarios expertos).

Si bien se incorporan conceptos de aprendizaje, no se vio indispensable incluir Redes Neuronales como se propuso en [4] y [7].

III. OBSERVACIONES Y RESULTADOS

El caso de prueba se componía de tres lotes de distinta calidad de una variedad de manzana. Estos lotes, de 72 frutos cada uno, habían sido generados a partir de una clasificación de usuarios expertos.

Para validar el sistema, se capturó un video por cada una de las calidades y se

obtuvieron las clasificaciones automáticas realizadas por el sistema. Comparando ambas clasificaciones, se generó una tabla de doble entrada como la que se muestra en [Tabla 3] para evaluar la eficiencia del algoritmo.

Las conclusiones arrojan que la técnica funciona adecuadamente en los casos de 1ra Calidad y 3ra Calidad. En el caso intermedio existen diferencias entre los resultados de clasificación automática con la realizada manualmente. Esta diferencia, generalmente es natural y comprensible ya que en la calidad intermedia el humano clasifica la fruta de acuerdo también a criterios subjetivos variables, los cuales no tienen tanta incidencia en la clase de mayor calidad (1ra) o en la peor (3ra).

		Indicadores			
Clasificación	#	Clasificación SIIF			
Experto		C1	C2	C3	OK
1	72	52	10	10	72,2%
2	72	1	24	47	33,3%
3	72	0	12	60	83,3
Tot.	216	53	46	117	

Tabla N° 3: Porcentaje de acierto del sistema

Como observación adicional se destaca que el esquema de colores utilizado funciona eficazmente ante cambios de intensidades de luz. La cámara de video escogida disponía de un único CCD, por lo que la calidad de la imagen era irregular y sufría constantes alteraciones ante un pequeño cambio de la luz ambiente.

IV. REFERENCIAS

- [1] CALPE J., PLA F., MONFORT J., DIAZ P., BOADA J.C., *Robust low-cost vision system for fruit grading*, 8th Mediterranean Electrotechnical Conference MELECON '96, (1996), 3, 1710-1713.
- [2] CHANG W.H., HUANG P.Y., CHEN Y.Y., *Vision based fruit sorting system using measures of fuzziness and degree of matching*, IEEE International Conference on

Systems, Man, and Cybernetics, Humans, Information and Technology, (1994), 3, 2600-2604.

[3] KAY G., DE JAGER G., *A versatile colour system capable of fruit sorting and accurate object classification*, (1992), Proceedings of South African Symposium on Communications and Signal Processing (COMSIG '92), (1992), 145 -148.

[4] NAKANO K., *Application of neural networks to the color grading of apples*, Computers and electronics in agriculture, (1997), 18, 105-116.

[5] PHILIPP I., RATH T., *Improving plant discrimination in image processing by use of different colour space transformation*, Computers and Electronics in Agriculture,(2002),35,1-15.

[6] SUDHAKARA RAO p., GOPAL A., REVATHY R., MEENAKSHI K., *Colour analysis of fruits using machine vision system for automatic sorting and grading*. J. Instrum. Soc. India 34 (4) 284-291

[7] Devrim UNAY, Bernard GOSSELIN, *Apple Defect Detection and Quality Classification with MLP-Neural Networks*, (2002)

Datos de Contacto

Ing. Juan Pablo D'Amato. PLADEMA-ISISTAN.

email: jpdamato@exa.unicen.edu.ar

Ing. Cristian García Bauza.

PLADEMA –ISISTAN.

email: crgarcia @exa.unicen.edu.ar

Dr.Marcelo J. Vénere . PLADEMA-ISISTAN.

email: venerem@exa.unicen.edu.ar

Dr.Alejandro Clausse . PLADEMA-ISISTAN.

email: clausse@exa.unicen.edu.ar